

UNIWERSYTET ŚLĄSKI

WYDZIAŁ MATEMATYKI, FIZYKI I CHEMII

INSTYTUT FIZYKI

INŻYNIERSKA PRACA DYPLOMOWA

**BADANIE WYDAJNOŚCI PRACY STUDENTÓW PODCZAS SZKOLENIA PRACY
ZESPOŁÓW RATOWNICZYCH SZPITALNEGO ODDZIAŁU RATUNKOWEGO W
SCENARIUSZACH POMIAROWYCH W ODPOWIEDZI NA BODŹCE STRESOWE
PRZY WYKORZYSTANIU TECHNIK PRZECHWYTYWANIA RUCHU ORAZ
ANALIZY MULTIFRAKTALNEJ**

Robert Kwapich

276941

Promotor: dr Łukasz Machura



**UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH**

KATOWICE 2015

University of Silesia
Faculty of Mathematics, Physics and Chemistry
August Chełkowski Institute of Physics

Robert Kwapich

276941

**STUDY OF STUDENT'S PERFORMANCE DURING TRAINING OF INTERVENTION
UNITS AT THE EMERGENCY DEPARTMENT IN THE EXERCISE SCENARIOS IN
RESPONSE TO STRESS STIMULI BY THE USE OF MOTION CAPTURE AND
MULTIFRACTAL TIME SERIES ANALYSIS**

Thesis supervisor: dr Łukasz Machura

KATOWICE 2015

Słowa kluczowe: analiza multifraktalna, szeregi czasowe, MFdfa, szpitalny oddział ratunkowy, przechwytywanie ruchu.

Oświadczenie autora pracy

Ja, niżej podpisany

Imiona i nazwisko: **Robert Sebastian Kwapich**

autor pracy dyplomowej pt.: „*Badanie wydajności pracy studentów podczas szkolenia pracy zespołów ratowniczych szpitalnego oddziału ratunkowego w scenariuszach pomiarowych w odpowiedzi na bodźce stresowe przy wykorzystaniu technik przechwytywania ruchu oraz analizy multifraktalnej*”

Nr albumu: **276941**

Student Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach kierunku studiów **Fizyka Medyczna** specjalności **elektroradiologia** oświadczam, że ww. praca dyplomowa:

- została przygotowana przeze mnie samodzielnie¹,
- nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (tekst jednolity Dz. U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631, z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,
- nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/łam w sposób niedozwolony,
- nie była podstawą nadania dyplomu uczelni wyższej lub tytułu zawodowego ani mnie, ani innej osobie.

Oświadczam również, że treść pracy dyplomowej zamieszczonej przeze mnie w Archiwum Prac Dyplomowych jest identyczna z treścią zawartą w wydrukowanej wersji pracy.

Jestem świadoma/y odpowiedzialności karnej za złożenie falszywego oświadczenia.

.....
Data:

.....
Podpis autora pracy:

¹ - uwzględniając merytoryczny wkład promotora (w ramach prowadzonego seminarium dyplomowego)

Pragnę serdecznie podziękować Panu dr n. med. Grzegorzowi Cebuli za umożliwienie mi przeprowadzenia badań w Zakładzie Dydaktyki Medycyny bez których napisanie niniejszej pracy byłoby niemożliwe.

Jednocześnie składam serdeczne podziękowania Panu dr Łukaszowi Machurze za inspirację do napisania niniejszej pracy oraz wszystkie cenne wskazówki.

Spis treści

| | |
|--|-----|
| Wykaz skrótów używanych w pracy | 11 |
| Część teoretyczna | 12 |
| Opis eksperymentu | 12 |
| Wstęp..... | 12 |
| Przesłanki badania..... | 13 |
| Cel badania..... | 14 |
| Metodyka wykonywania pomiarów | 14 |
| Spodziewane wyniki..... | 15 |
| Fraktale..... | 15 |
| Wymiar fraktalny | 15 |
| Szeregi czasowe (time series)..... | 18 |
| Fraktalna i multifraktalna natura szeregów czasowych..... | 19 |
| Niestacjonarność szeregu czasowego..... | 21 |
| Wybrane metody analizy stacjonarnych fraktalnych szeregów czasowych..... | 21 |
| Wybrane metody analizy niestacjonarnych szeregów czasowych | 25 |
| Multifraktalne szeregi czasowe | 33 |
| Wstęp..... | 33 |
| Funkcja strukturalna i spektrum osobliwe..... | 34 |
| Multifractal detrended fluctuation analysis (MFdfa)..... | 35 |
| Zależności w odniesieniu do standardowego formalizmu analizy multifraktalnej..... | 51 |
| Bibliografia..... | 53 |
| Część empiryczna..... | 55 |
| Scenariusze badania | 55 |
| Metodyka charakterystyki scenariuszy..... | 55 |
| Charakterystyka scenariuszy | 56 |
| Opracowanie wygenerowanych szeregów czasowych | 88 |
| Definicja parametru przesunięcia dla wygenerowanych dwuwymiarowych szeregów czasowych.... | 88 |
| Zastosowanie metody DFA do obliczenia wykładnika Hursta wygenerowanych sygnałów przesunięć | 90 |
| Zastosowanie metody MFdfa do analizy szeregów czasowych parametru przesunięcia | 92 |
| Analiza szczegółowa otrzymanych wyników | 124 |

| | |
|--|-----|
| Scenariusz A1 – zatorowość płucna | 124 |
| Scenariusz A2 – zawał ściany przedniej serca | 130 |
| Scenariusz A3 – odma płuca prawego..... | 136 |
| Scenariusz B1 –ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie | 141 |
| Scenariusz B2 – Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii..... | 145 |
| Scenariusz B3 - Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny..... | 149 |
| Wnioski ogólne | 154 |
| Wprowadzenie do formułowania wniosków | 154 |
| Zmienna lokalnego wykładowcy Hursta a zachowanie członków rodziny pacjenta w scenariuszach pomiarowych..... | 154 |
| Scenariusz A1 – zatorowość płucna..... | 154 |
| Scenariusz A2 – zawał ściany przedniej serca | 156 |
| Wpływ obecności rodziny na działania zespołu ratowniczego | 158 |
| A1 – zatorowość płucna | 158 |
| A2 – zawał ściany przedniej serca..... | 161 |
| Zmienna lokalnego wykładowcy Hursta a agresywność zachowania osób postronnych – scenariusz B3..... | 166 |
| Osoba 6..... | 166 |
| Osoba 7..... | 167 |
| Wpływ osób postronnych na działania zespołu ratowniczego | 168 |
| Wpływ stanu pacjenta, jego diagnozy i zmiany stanu na działania zespołu ratowniczego | 169 |
| Scenariusz B1 – ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie | 169 |
| Scenariusz B2 – zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii | 174 |
| Scenariusz A3 – odma płuca prawego..... | 180 |
| Podsumowanie i wnioski końcowe | 186 |
| Podsumowanie wpływu rodziny na działania zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładowników Hursta..... | 186 |
| Podsumowanie wpływu osób postronnych na działania zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładowników Hursta..... | 188 |
| Podsumowanie pracy zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładowników Hursta. | 190 |
| Wnioski końcowe | 192 |

Wykaz skrótów używanych w pracy

Poniżej zamieszczono skróty używane w niniejszej pracy. Skróty te pochodzą zarówno z dziedziny analizy szeregów czasowych, geometrii fraktalnej, a także ratownictwa medycznego. Z powodu małej ilości i braku nakładania się na siebie skrótów zdecydowano o umieszczeniu ich w jednym wykazie, bez podziału tematycznego.

SOR – Szpitalny Oddział Ratunkowy,

RKO – Resuscytacja Krążeniowo Oddechowa,

MFdfa – ang. *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*, Multifraktalna Analiza Fluktuacji,

DFA – ang. *Detrended Fluctuation Analysis*, Analiza Fluktuacji,

AMBU / Worek Ambu – Worek samorozprężalny, resuscytator (ang. resuscitator),

PR – pogotowie ratunkowe.

Część teoretyczna

Opis eksperymentu

Wstęp

Dane generowane przez tzw. systemy złożone (*ang. complex systems*) ukazują fluktuacje na wielu skalach czasowych. W przyrodzie występuje wiele naturalnych fluktuacji, zaobserwowanych dotychczas w dziedzinach medycyny¹, neurobiologii poznawczej², astrofizyki³, fizjologii⁴ czy naukach społecznych⁵. Przykładem początków tych analiz mogą być cykliczne zmiany poziomu wody Nilu analizowanych przez twórcę geometrii fraktalnej – Benoia B. Mandelbrota, które wykazują potęgową zależność skalowania dla nawet kilku rzędów powiększenia. Te potęgowe zależności pozwalają na scharakteryzowanie danego obiektu geometrycznego, a także szeregiów czasowych przy użyciu fraktalnych (bądź multifraktalnych) wykładników skalujących. Celem opisania danego szeregu czasowego pod względem charakterystycznych wykładników powstało kilka metod analizy szeregiów czasowych, gdzie w niniejszej pracy wykorzystana będzie metoda MFDFA – ang. *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*, której podstawy matematyczne i numeryczne opisano w niniejszej pracy.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie zachowania studentów w Krakowskim Zakładzie Dydaktyki Medycznej w Collegium Medicum na Uniwersytecie Jagiellońskim. Analiza opiera się na badaniu przemieszczenia studentów w dwuwymiarowej przestrzeni, którą stanowi płaszczyzna będąca widokiem z góry pomieszczenia zakładu. Każdy ze studentów wykonujących ćwiczenie opierające się na pracy z fantomem, który symuluje zachowanie pacjenta według zaplanowanego wcześniej scenariusza, jest rozpatrywany, jako pojedynczy punkt w tej przestrzeni dwuwymiarowej. Z racji, iż płaszczyzna pomiarowa to widok na pomieszczenie z góry, punkt ten

¹ Ivanov, P. C., Amaral, L. A. N., Goldberger, A. L., Havlin, S., Rosenblum, M. G., Struzik, Z., oraz Stanley, H. (1999); *Multifractality in human heart dynamics*. Nature 399, 461-465.

² Zheng, Y., Geo, J. B., Sanchez, J. C., Principe, J. C., oraz Okun, M. S. (2005); *Multiplicative multifractal modelling and discrimination of human neuronal activity*. Phys. Lett. A 344, 253-264.

³ Jose G. (2007), *Halos and Voids in a Multifractal Model of Cosmic Structure*, Astrophysical Journal 658:11-24.

⁴ Peng, C. K., Mietus, J. E., Liu, Y., Lee, C., Hausdorff, J. M., Stanley, H. E., Goldberger, A. L., oraz Lipstiz, I. A., (2002); *Quantifying fractal dynamics of human respiration: age and gender effects*. Ann. Biomed. Eng. 30, 683-692.

⁵ Kudinov, A. N., Tsvetkov, V. P., Tsvetkov, I. V., (2011); *Catastrophes in the multi-fractal dynamics of social-economic systems*. Russian Journal of Mathematical Physics, Vol. 18, Iss. 2, pp 149-155.

jest określany przez położenie główny badanego. Układ współrzędnych określono tak, by punkt (0,0) znajdował się w środku analizowanej płaszczyzny w miejscu, w którym znajduje się fantom.

Zrozumienie funkcjonowania wspomnianych na początku tzw. systemów złożonych (*ang. complex systems*) jest zadaniem nietrywialnym, gdyż systemy te nie mogą być podzielone na podsystemy, bez zmiany ich właściwości dynamicznych. Jedną z technik analizy jest więc obserwacja długich szeregów czasowych generowanych przez dany system, dla wybranych zmiennych – obserwabli, które odzwierciedlają stan danego systemu. Systemy złożone zazwyczaj nie posiadają składowych periodycznych, dlatego w przypadku ich analizy nie można wyznaczyć kilku charakterystycznych dla systemu częstotliwości, najczęściej przyjmują one postać szerokich pasm częstotliwościowych, gdzie przyjmowane wartości charakteryzują się dużym odchyleniem standardowym. Z tego powodu systemy te charakteryzuje się poprzez reguły skalowania (*ang. scaling laws*), którymi można posłużyć się w przypadku szerokich rozpiętości spektrum częstotliwości, bądź długich skal czasowych. Taka dynamika analizowanych sygnałów określana jest poprzez termin *fraktalny*, bądź *multifraktalny* w zależności, czy zaobserwowano odpowiednio jeden, bądź kilka czynników skalujących.

Zaobserwowanie dynamiki fraktalnej, bądź multifraktalnej w danych generowanych przez badany system, a następnie dalsze ich scharakteryzowanie pozwala uzyskać prognozę, co do zachowania danego systemu w przypadku zewnętrznych ingerencji w ten system. Prognoza ta, a raczej miara statystycznego prawdopodobieństwa będzie mówić o możliwym zachowaniu danego systemu, w wyniku zadziałania zewnętrznych czynników, a zmiany zachowania, jakie zajdą w systemie, będą obserwowały poprzez zmianę dynamiki fraktalnej bądź multifraktalnej.

Rozumowanie to, wraz z całym aparatem matematycznym zostało z powodzeniem zastosowane w przypadku szeregów generowanych przez systemy geofizyczne, jak temperatura, opady, ale także w przypadku szeregów pochodzenia biologicznego, jak zapis rytmu serca, dynamiki oddechu, ciśnienia krwi, a także sposobu poruszania się i dynamiki chodu.

Przesłanki badania

Sprawność bądź wydajność ratownika medycznego, czy osób wykonujących resuscytację, bądź inne czynności bezpośrednio lub pośrednio przekładające się na dalszy stan zdrowia pacjenta na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym, zależy od wielu czynników, w tym od czynników rozpraszających uwagę wykonującego podjęte czynności. Powszechnie wiadomo, iż w przypadku

narażenia osoby wykonującej podjęte czynności na czynniki rozpraszające, jak hałas, nagła i niespodziewana zmiana zachowania pacjenta, bądź grupy ludzi w najbliższym otoczeniu, efektywność wykonywanych czynności związanych z pacjentem może zmaleć, jeśli ratownik jest osobą o małym doświadczeniu i odporności na stresory zewnętrzne. Dodatkowo nagłe zmiany stanu pacjenta, w tym pogorszenie zdrowia, ustanie czynności krążeniowo-oddechowej, rosnący proces sinicy, krwawienia tętnicze, przesłanki, które nie mówią bezpośrednio o stanie pacjenta są czynnikami, które zmuszają zespół do rozważenia dalszego postępowania i odpowiedniej reakcji na pojawiające się bodźce.

Cel badania

Celem badania jest zanalizowanie sposobu poruszania się studentów wykonujących ćwiczenia fakultatywne na fantomie Zakładu Dydaktyki Medycznej, który symuluje pacjenta w sytuacji zależnej od danego scenariusza ćwiczenia. Fantom symuluje ruchy klatki piersiowej, wraz ze strumieniem powietrza, które wydostaje się przez usta oraz nozdrza, tętno na tętniczy szyjnej zewnętrznej (okolice szyi) oraz obu górnych kończynach w okolicy nadgarstka. Dodatkowo fantom generuje impulsy elektryczne symulujące pracę serca, które przy pomocy elektrod można odczytać w postaci zapisu EKG. Dodatkowo dostarczony jest simulator defibrylatora, który wpływa na elektryczny zapis akcji serca fantomu w sposób, który odzwierciedla rzeczywistość. Przy pomocy dostępnego na Sali Zakładu Dydaktyki Medycznej sprzętu można analizować saturację krwi pacjenta, dzięki pomocy urządzenia symulującego pulsoksymetr, który należy założyć pacjentowi na palec wskazujący kończyny górnej lewej.

W wyniku analizy ruchu studentów, opisywanej na płaszczyźnie dwuwymiarowej, będącej rzutem z góry pomieszczenia zakładu, generowane są szeregi czasowe, opisujące zmianę położenia ratownika w przestrzeni i w czasie. W wyniku dalszej analizy matematycznej z zastosowaniem metod analizy szeregów multifraktalnych określana jest kwantytatywna, czyli ilościowa miara stopnia regularności czy przewidywalności wartości tzw. *systemu złożonego* (ang. *complex system*), który w danym ćwiczeniu stanowi każda z osób wykonujących ćwiczenie.

Metodyka wykonywania pomiarów

Na wstępny etapie badań analizowane są szeregi czasowe, generowane z filmów powstały podczas nagrywania danego scenariusza fakultatywnego, według którego zachowuje się dany fantom – pacjent. Do generacji szeregów czasowych wykorzystywane jest

oprogramowanie *Tracker Video Analysis and Modelling Tool for Physics*⁶, dzięki któremu każdemu z badanych przyporządkowany jest punkt, który charakteryzuje się określonym położeniem w przestrzeni i czasie. Na dalszym etapie wygenerowane szeregi czasowe są eksportowane w formie tabeli danych, zawierających parametry: położenie na osi X, Y oraz czas t do programu matematycznego, który umożliwia analizę multifraktalną szeregów czasowych, platforma Matlab.

Spodziewane wyniki

Zastosowanie nieliniowej analizy fraktalnej do wygenerowanych danych może pozwolić ocenić wydajność w sposób kwantytatywny analizowanej osoby, co jest jedną z hipotez wykonanego badania. Wydajność oceniana będzie przy pomocy standardowych parametrów dynamiki chaotycznej, tj.: wykładnik Hursta i jego zmienność w czasie, widmo multifraktalne, czy dystrybucja prawdopodobieństwa. Dzięki tym parametrom możliwe okaże się określenie stopnia decyzyjności ratowników/wykonujących ćwiczenie, w odpowiedzi na szereg czynników/zdarzeń, występujących w sposób zamierzony, bądź niezamierzony w scenariuszu, ich czasu trwania, intensywności i dalszego wpływu na postępowanie uczestników.

Fraktale

Wymiar fraktalny

Badając daną strukturę fraktalną przy jej opisie posługuje się parametrem zwany wymiar fraktalny, często oznaczany symbolem D (*ang. Dimension*). Chcąc sprawdzić poziom złożoności struktury, czy sygnału, celem ustalenia jak szybko jeden z parametrów charakterystycznych dla struktury, ja powierzchnia czy długość zmienia się dla coraz mniejszych skal, wylicza się wymiar fraktalny.

⁶ Program oparty na licencji GPL-3.0, jest częścią pakietu OSP (*Open Source Physics*).
Strona programu: <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

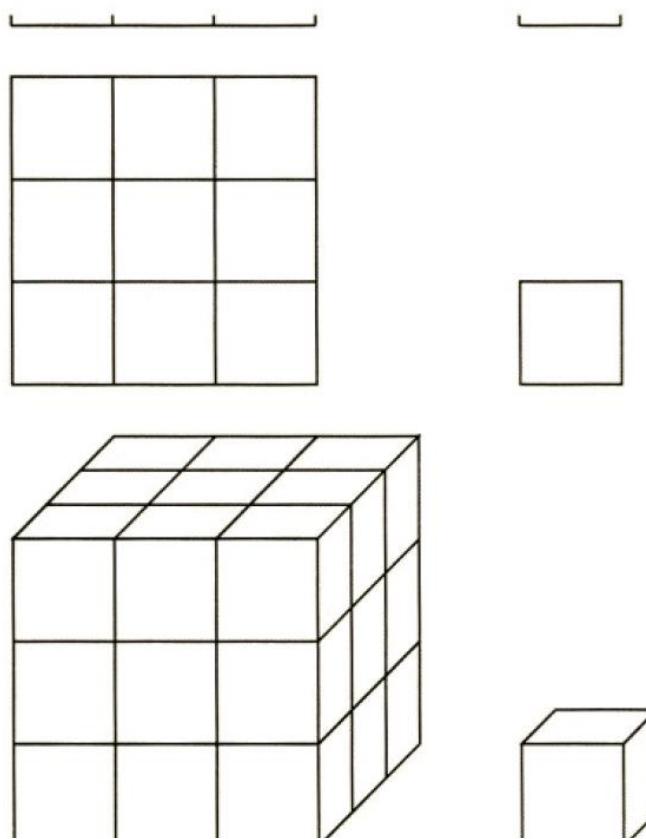
Istnieje szereg różnych definicji wymiaru fraktalnego: wymiar topologiczny, wymiar Hausdorffa, wymiar fraktalny, wymiar samopodobieństwa, wymiar uzyskany tzw. metodą pudełkową (*box-counting dimension*), wymiar pojemnościowy, wymiar Euklidesowy itp⁷. Rodzaj zdefiniowanego wykładnika determinuje jego zastosowanie i przydatność dla danego przypadku.

Samopodobieństwo w odniesieniu do fraktali oznacza taką własność, która pozwala podzielić daną strukturę na mniejsze kawałki, które stanowią dokładne odwzorowanie całej poprzedniej struktury w mniejszej skali. Samopodobieństwo jest cechą fraktali, jednak obiekt, który posiada właściwości samopodobieństwa nie musi być frakiem, gdzie przykładem może być prosta.⁸

Wymiar fraktalny zależy od procesu skalowania danego obiektu i jego wymiarowości. Dla przykładu rozpatrzono poniżej odcinek, kwadrat oraz sześcian, które skalowano czynnikiem $1/3$. Każdy z wymiarów elementu wyjściowego dzielono na trzy równe części, w konsekwencji otrzymano trzy odcinki, dziewięć kwadratów oraz dwadzieścia siedem mniejszych sześciennów.

Powyższą relację, między czynnikiem skalującym, wymiarem przestrzennym rozpatrywanego obiektu, a liczbą otrzymanych elementów opisuje poniższa relacja:

$$a = \frac{1}{s^D}, \text{ gdzie:}$$



Rysunek 1 objaśniający algorytm postępowania w przypadku skalowania, dzielenia elementu wyjściowego na mniejsze zgodnie z założonym czynnikiem skalującym.

⁷ H. O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe; *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*; Springer 2004.

⁸ Ibidem. Figure 4.22, strona 194.

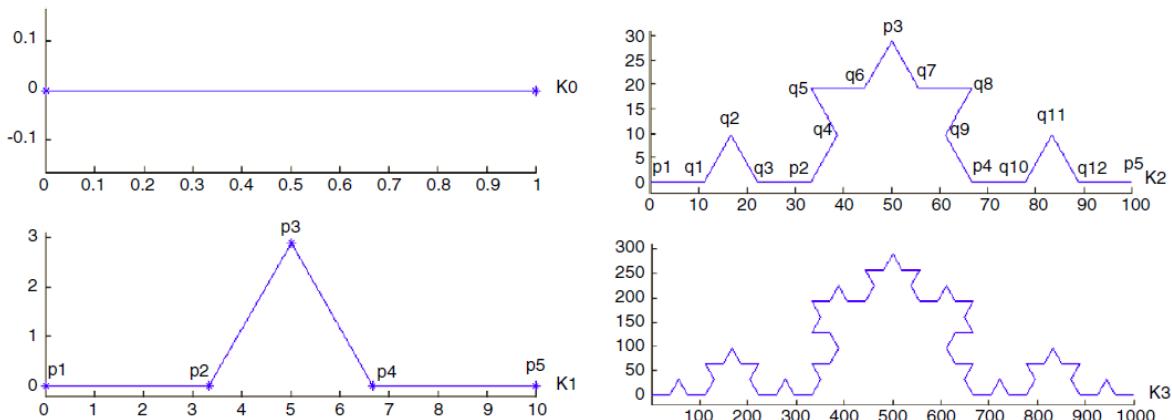
a – liczba otrzymanych elementów w wyniku wykonania operacji skalowania obiektu,

D – wymiar samopodobieństwa (*ang. self-similarity dimension*),

s – czynnik skalujący.

Dla przedstawionych struktur: prosta, kwadrat oraz sześcian zmienna D odpowiadająca za wymiar przyjmuje odpowiednio wartości 1, 2 oraz 3, co odpowiada ich wymiarom przestrzennym.

Jednak analizując przykład krzywej fraktalnej, jaką jest Krzywa Kocha wartość wymiaru D nie przyjmuje wartości całkowitej. Krzywą Kocha można zdefiniować jako granicę ciągu krzywych, którą tworzy się w sposób następujący: odcinek o długości x dzieli się na trzy równe części, gdzie środkową cześć zastępuje się dwoma równymi częściami, każdy o długości $\frac{1}{3}x$, których nachylenie względem początkowego odcinka wynosi 60° tak, że wraz z usuwaną częścią tworzą trójkąt równoboczny. Cała ta procedura powtarzana jest w nieskończoność dla każdego z dwóch powstających odcinków.



Rysunek 2. Przykład konstrukcji Krzywej Kocha⁹.

W przypadku Krzywej Kocha relacja pomiędzy czynnikiem skalującym wynoszącym dla tej krzywej $\frac{1}{3}$, a liczbą elementów, gdzie dla pierwszej zastosowanej operacji opisanej powyżej otrzymuje się 4 elementy wygląda następująco: $4 = 3^D$. Logarytmując obie strony równania i dzieląc przez logarytm z czterech otrzymujemy przybliżony wymiar tej krzywej fraktalnej

⁹ P. Paramanathan, R. Uthayakumar; *Fractal interpolation on the Koch Curve*; Volume 59, Issue 10, May 2010, Pages 3229–3233; Fig. 1,2.

wynoszący: 1,2619. Ta relacja potęgowa jest prawdziwa dla dowolnego kroku czynnika skalującego k , który można zapisać w postaci $\frac{1}{3^k}$.

Z powyższej relacji na liczbę otrzymanych elementów a w wyniku zastosowania skalowania można otrzymać wymiar samopodobieństwa:

$$D = \frac{\log(a)}{\log(1/s)}$$

Z powodu mnogości definicji wymiarów często używa się indeksu dolnego s , celem zaznaczenia, iż jest to wymiar samopodobieństwa D_s .

Szeregi czasowe (time series)

Szeregiem czasowym nazywamy jednowymiarową tabelę liczb, które reprezentują wartości danej obserwabli, najczęściej w jednakowych odstępach czasu. Szereg czasowy zapisuje się w postaci $x_i, i = 1, \dots N$, gdzie N – liczba wartości danego szeregu, inaczej jego długość.

Termin *fraktałny* w odniesieniu do terminu szereg czasowy nie ma ścisłej definicji i jest często utożsamiany z samoafinicznością, w której to bierze się pod uwagę, iż skala czasowa i skala mierzonych wartości $x(t)$ nie są równoważne. Oznacza to, jeśli poddano skalowaniu oś czasu o czynnik a , należy także przeskalać wartości szeregu czasowego $x(t)$ przez inny czynnik o postaci a^H , by otrzymać statystycznie podobne wyniki. Nie jest, więc to fraktal w ścisłym znaczeniu tego słowa, a dla szeregów czasowych termin ten występuje w przypadku, gdy można zdefiniować wykładnik Hursta H . Opisaną relację można zapisać w postaci:

$$x(t) \sim a^H x(at)$$

Zmienna a nazywana jest czynnikiem samopodobieństwa, która opisuje zestaw danych, jako samoafiniczy. Zmienna H nazywana jest wykładnikiem Hursta, opisuje typ samoafiniczności. Szereg czasowy ma charakter błędzenia losowego (jak ruchy Browna) w przypadku, gdy wykładnik Hursta przyjmuje wartość $H = 0,5$. Oznacza to, zgodnie z powyższym równaniem, iż jeżeli oś czasu zostanie przeskalowana czynnikiem 4, to należy wtedy oś pozycji (oś przyjmowanych wartości) należy przeskalać czynnikiem 0,5.

W geometrii fraktalnej uogólniony *wykładnik Hursta* oznacza się symbolem H bądź H_q , czasem jednak zamienne używa się nazwy *wykładnik Höldera* na cześć niemieckiego matematyka Ludwiga Otto Höldera. Nazwy te zostały nadane przez Benoît Mandelbrota, jednego z najpłodniejszych twórców geometrii fraktalnej. W dalszej części rozważań teoretycznych i w części empirycznej będę odnosił się do tego parametru poprzez sformułowanie *wykładnik Hursta*.

Wartość średniokwadratowa przemieszczenia (*ang. mean-square displacement*) jest jednym z dodatkowych metod analizy tego typu szeregów czasowych. Wartość ta dla błądzenia losowego rośnie proporcjonalnie do upływającego czasu zgodnie z zależnością $\langle x^2(t) \rangle \sim t$, gdzie odchylenia od niej świadczą o samoafinycznym zachowaniu szeregu przy jego skalowaniu.

Fraktalna i multifraktalna natura szeregów czasowych

Analiza fraktalna szeregów czasowych stosowana jest do określania nieregularności w nich występujących, nazywanych także osobliwościami (*ang. singularity*). Metoda ta opiera się na obliczeniu występujących korelacji przestrzennych lub czasowych dla szeregu zdefiniowanych skal, których wartości w przeważającej liczbie przypadków są potęgą liczby dwa.

Termin „*fraktal*” w przypadku analizy szeregów czasowych nie odnosi się więc bezpośrednio do jednej z pierwszych definicji jako samopodobnych struktur, które zawierają powtarzające się w sobie kolejne takie struktury na nieskończonym zbiorze coraz mniejszych (bądź większych) skal¹⁰. Termin „*fraktal*” został, więc poszerzony w tym znaczeniu, że dotyczy struktur samoafinicznych (*ang self-affine*) bądź samopodobnych, których struktura czy rozkład statystyczny jest jednakowy, bądź równoważny, jednak nie identyczny, jak w przypadku pierwszych historycznych struktur fraktalnych, w nieskończonej liczbie zbiorów mniejszych skal. Termin samoafiniczny jest, więc pojęciem bardziej ogólnym w stosunku do samopodobieństwa. Samoafiniczność posłużyła do opisu wielu struktur obecnych w naturze, tj.: linie brzegowe, chmury, pasma górskie, wzory rozgałęzień na drzewach.

Niedawne zastosowania analizy fraktalnej szeregów czasowych posłużyły do opisu tzw. niezależnych od skali fluktuacji¹¹ (*ang. scale-invariant fluctuations*), przy pomocy, których charakteryzowano sygnały biologiczne, turbulencje, aktywność plam na słońcu czy nawet rynki

¹⁰ Mandelbrot BB. The fractal geometry of nature. San Francisco: W.H. Freeman; 1982

¹¹ Kantelhardt J. W. Fractal and multifractal time series. In: Meyers RA, editor. Mathematics of complexity and dynamical systems. New York, NY: Springer; 2012. p.463–87.

finansowe, dla wielu skali czasowych. Do sygnałów biologicznych, które poddano analizie multifraktalnej, należą m.in.: sygnały EKG, EEG, MR a nawet zdjęcia rentgenowskie [Lopes and Betrouni, 2009]. W strukturach tych (ang. *scale-invariant structures*) wszystkie skale pomiarowe posiadają jednakowy wpływ na sygnał wyjściowy¹².

Dany sygnał posiada strukturę niezależną od skali (ang. *scale-invariant structure*) wtedy, gdy struktura, a raczej parametry ją opisujące powtarzają się w podprzedziałach danego sygnału. Matematyczną definicję sygnału, który charakteryzuje się taką strukturą można zapisać w następującej postaci:

$$X(ct) = c^H X(t)$$

Gdzie:

- $X(t)$ - badany sygnał o charakterze multifraktalnym,
- c – pewna stała,

Spektrum multifraktalne (ang. *multifractal spectra*) bądź zwane inaczej spektrum osobliwym (ang. *singularity spectrum*) obliczone dla danego szeregu czasowego jest metodą, która informuje o niezależnym od skali stopniu samopodobieństwa z uwzględnieniem lokalnych, czasowych zmienności. Spektrum multifraktalne przedstawia się w postaci zależności lokalnego wykładnika Hursta, czyli miary lokalnej zmienności, w funkcji wymiaru fraktalnego (wymiaru Hausdorffa) oznaczanego symbolem D dla zestawu danych o tym samym wykładniku Hursta.

Sygnały monofraktalne opisywane są poprzez podanie pojedynczego czynnika skalującego, który pozostaje stały dla całego szeregu czasowego. Dla sygnałów multifraktalnych pojedynczy stały czynnik nie występuje, gdyż sygnał ten składa się z obszarów o wysokim stopniu zmienności poprzedzielanym regionami o mniejszej zmienności. Rezultatem tego rozproszenia jest występowanie wielu czynników skalujących dla całego multifraktalnego szeregu czasowego.

Kształt spektrum osobliwego zależy od charakteru analizowanego sygnału. Nieskorelowane monofraktalne sygnały w teorii powinny charakteryzować się zerową szerokością spektralną. W praktyce metod numerycznych jednak spektrum te ma niezerową szerokość, która

¹² Ciuci P, Abry P, Rabrait Cé, Wendt H. Log wavelet leaders cumulant based multi-fractal analysis of fMRI time series: evidence of scaling in ongoing and evoked brain activity. IEEE J Select Top Signal Process 2008;2: p.929–43

wynika bezpośrednio z analizy skończonych szeregów czasowych. Spektrum to dla sygnałów multifraktalnych charakteryzuje się znacznie większą szerokością z powodu heterogenicznej dystrybucji zmienności, którą opisuje szereg wykładników Höldera.

Niestacjonarność szeregu czasowego

Niestacjonarność szeregu czasowego to wariacje wartości średniej oraz odchylenia standardowego dla otrzymanego zestawu danych. Najczęstszym powodem występowania tego zjawiska są spowodowane zewnętrznymi efektami, które nie zostały uwzględnione w danym modelu. Niestacjonarność szeregu czasowego to także występowanie na przemian segmentów z silnymi i bardzo słabymi wartościami fluktuacji.

Niestacjonarność w konsekwencji powoduje występowanie tzw. zachodzenia (*ang. crossover*). Szereg czasowy, w którym występuje to zjawisko nie jest już szeregiem samoafinycznym, nie można wyznaczyć jednego wykładnika Hursta, który będzie charakteryzował ten szereg czasowy. Różnorodność mechanizmów regulacji danego systemu złożonego (*ang. complex system*) mogą także przyczyniać się do powstania zjawiska crossover. Podobnie jak w poprzednim wypadku sygnał ten jest wtedy rozpatrywany jako niestacjonarny (*ang. non-stationary*), gdzie w takim wypadku konieczna jest dalsza analiza, celem odnalezienia przyczyn zjawiska crossover.

Ważnym spostrzeżeniem w przypadku występowania zjawiska *crossover* jest odróżnienie go od multifraktalnego zachowania szeregu czasowego, gdyż w obu przypadkach koniecznym okazuje się użyciu kilku wykładników skalujących. W przypadku zjawiska *crossover* wykładniki te nie mają zastosowania do różnych regionów na skali czasu o tej samej rozpiętości – rozmiarze analizowanej próbki. Multifraktalność z kolei charakteryzuje się odmiennym zachowaniem skalującym dla różnych fragmentów z całego zakresu skal czasowych.

Wybrane metody analizy stacjonarnych fraktałnych szeregów czasowych

Funkcja autokorelacji

Dysponując szeregiem czasowym x_i na który składa się N próbek, gdzie $i = 1, \dots, N$, które pobierane zostały z jednakową częstotliwością próbkowania możemy rozpatrzyć korelację wartości x_i oraz x_{i+s} dla różnych skal czasowych s . W pierwszym kroku eliminuje się wartość stałą z szeregu czasowego, poprzez odjęcie od niej wartości średniej:

$$\tilde{x}_i = x_i - \langle x \rangle = x_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Korelacje pomiędzy wartościami \tilde{x}_i oraz \tilde{x}_{i+s} definiuje się, jako kowariancję funkcji

$$C(s) = \langle \tilde{x}_i, \tilde{x}_{i+s} \rangle = \frac{1}{N-s} \sum_{i=1}^{N-s} \Delta x_i \Delta x_{i+s}$$

gdzie Δx_i oraz Δx_{i+s} stanowią przyrosty, czy różnice zdefiniowane następująco:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$$

$$\Delta x_{i+s} = x_{(i+s)} - x_{(i+s)-1}$$

Jeśli (auto) kowariancję podzieli się przez wariancję $\langle (\Delta x_i)^2 \rangle$ otrzymuje się funkcję autokorelacji. Obie wartości są identyczne w przypadku, gdy dane są znormalizowane do jednostki wariancji. W przypadku, gdy powyżej zdefiniowane przyrosty są nieskorelowane, co ma miejsce w przypadku tzw. błędzenia losowego, funkcja kowariancji wynosi zero $C(s) = 0$. Krótkozasięgowe korelacje opisywane są przez eksponencjalny zanik funkcji kowariancji: $C(s) \sim \exp(-s/t_x)$, gdzie zmienna t_x to charakterystyczny czas zaniku. Krótkozasięgowe korelacje odpowiadają często tzw. procesowi autoregresyjnemu (*ang. auto-regressive process - AR*), który można przedstawić w postaci: $\Delta x_i = c \Delta x_{i-1} + \varepsilon_i$, gdzie ε_i stanowi nieskorelowany czynnik losowy, z kolei $c = \exp(-1/t_x)$.

W przypadku występowania korelacji długozasięgowych całka z funkcji kowariancji jest rozbieżna dla nieskończenie długiego szeregu czasowego, gdzie $N \rightarrow \infty$. Oznacza to, iż czas zaniku t_x nie może zostać z powodzeniem określony, gdyż zwiększa się on wraz ze zwiększeniem liczby N próbek analizowanego sygnału. W przypadku tych długozasięgowych korelacji funkcja kowariancji zanika zgodnie z relacją: $C(s) \propto s^{-\gamma}$, gdzie wykładnik gamma przyjmuje wartości z przedziału: $0 < \gamma < 1$.

W praktyce metoda ta jest mniej skuteczna w porównaniu do tych, które opisano poniżej, z powodu szumów bezpośrednio nakładających się na analizowany sygnał \tilde{x}_i oraz możliwych przyczynków niestacjonarnego nieznanego pochodzenia. Dodatkowo, dla dużych skal s wartość

kowariancji $C(s)$ silnie oscyluje w granicach zera, co uniemożliwia dokładne ustalenie wykładnika gamma γ .

Analiza R/S

Metoda analizy R/S (*ang. rescaled range analysis*) zaproponowana przez Hursta składa się z kilku kroków. Pierwszy z nich polega na podzieleniu danego sygnału na niezachodzące na siebie segmenty v , z których każdy jest wielkości (liczba próbek) s . Oznacza to, iż dysponuje się $N_s = \text{int}(N/s)$ całkowitą liczbą segmentów. Kolejny krok polega na wyznaczeniu tzw. profilu dla każdego segmentu $v = 0, \dots, N_s - 1$.

$$Y_v(j) = \sum_{i=1}^j (\tilde{x}_{vs+i} - \langle \tilde{x}_{vs+i} \rangle_s) = \sum_{i=1}^j \tilde{x}_{vs+i} - \frac{j}{s} \sum_{i=1}^s \tilde{x}_{vs+i}$$

Poprzez odjęcie lokalnych wartości średnich eliminuje się odcinkowe trendy w danym szeregu czasowym. W kolejnym kroku różnice pomiędzy maksymalnymi i minimalnymi wartościami $R_v(s)$ oraz odchyleniem standardowym $S_v(s)$ dla każdego segmentu są wyliczane:

$$R_v(s) = \max_{j=1}^s \{ Y_v(j) \} - \min_{j=1}^s \{ Y_v(j) \}$$

$$S_v(s) = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{j=1}^s Y_v^2(j)}$$

Ostatnim krokiem jest wyznaczenie fluktuacji $F(s)$ przy pomocy uśrednienia R/S (*ang. rescaled range*):

$$F_{RS}(s) = \frac{1}{N_s} \sum_{v=0}^{N_s-1} \frac{R_v(s)}{S_v(s)} \sim s^H \quad \text{dla } s \gg 1,$$

Wykładnik H jest wykładnikiem Hursta, którego pojęcie wprowadzono już w punkcie *Fraktalne szeregi czasowe -> Samoafiniczność, skalowanie*. Można wykazać¹³, iż wykładnik Hursta powiązany jest z wykładnikiem gamma relacją: $2H = 2 - \gamma$, biorąc pod uwagę przedział zmienności wykładnika gamma $0 < \gamma < 1$ zauważać można, iż wykładnik Hursta mieści się w

¹³ B.B Mandelbrot, J.W. van Ness, *Fractional Brownian motions, fractional noises and applications*, SIAM Review 10, 422 (1968)

przedziale: $0,5 < H < 1$. Związek ten nie jest prawdziwy w przypadku analizy sygnałów multifraktalnych.

Metoda analizy R/S pozwala uzyskać wykładnik Hursta ograniczony do przedziału $0 < H < 2$, gdzie wokół granic tego przedziału występują największe niedokładności tej metody. Całkując bądź różniczkując dany sygnał można odpowiednio zwiększyć i zmniejszyć wykładnik Hursta o jeden, tym samym niejako obchodząc powyższe ograniczenie, pod warunkiem, iż analizowany sygnał jest sygnałem stacjonarnym. Wartości $H < 1/2$ odpowiadają długozasięgowym antykorelacjom wartości szeregu czasowego, a $H > 1/2$ odpowiada długozasięgowej korelacji

Analiza fluktuacji (FA – ang. Fluctuation Analysis)

Ponownie rozpatrujemy sygnał $\tilde{x}_i, i = 1, \dots, N$; o zerowej wartości średniej – ten sam, który zdefiniowano w punkcie *funkcja autokorelacji*. W punkcie tym rozpatrywać będziemy tzw. profil globalny, czyli sumę całkową: $Y(j) = \sum_{i=1}^j \tilde{x}_i, j = 0, 1, 2, \dots, N$. Można dzięki temu obserwować jak fluktuacje danego profilu dla okna czasowego o określonym rozmiarze s zwiększają się wraz ze zwiększaniem rozmiaru s tego okna.

By dowiedzieć się jak kwadrat fluktuacji skaluje się wraz ze zwiększaniem skali s , należy najpierw podzielić sygnał składający się z N elementów na całkowitą liczbę $N_s = \text{int}(N/s)$ niezachodzących na siebie segmentów rozmiaru s , zaczynając od początku sygnału, oraz kolejną liczbę niezachodzących segmentów N_s , rozmiaru s , zaczynając od końca analizowanego sygnału. Analizując sygnał w ten sposób – od początku i od końca, upewniamy się, iż żadna część danych nie pozostaje zaniedbana. Kolejnym krokiem jest obliczenie wartości fluktuacji dla każdego segmentu v .

W standardowej analizie FA otrzymujemy wartość fluktuacji bezpośrednio z wartością profilu dla dwóch krańcowych wartości każdego segmentu $v = 0, \dots, N_s - 1$:

$$F_{FA}^2(v, s) = [Y(vs) - Y((v + 1)s)]^2,$$

oraz w sposób analogiczny dla segmentów $v = N_s, \dots, 2N_s - 1$:

$$F_{FA}^2(v, s) = [Y(N - (v - N_s)s) - Y(N - (v + 1 - N_s)s)]^2,$$

Następnie obie otrzymane wartości uśredniamy, by otrzymać średnią wartość fluktuacji $F_2(s)$:

$$F_2(s) = \left[\frac{1}{2N_s} \sum_{v=0}^{2N_s-1} F_{FA}^2(v, s) \right]^{1/2} \sim s^\alpha$$

Z definicji $F_2(s)$ jest wartością średniokwadratową przemieszczenia (*ang. root-mean-square displacement*) po wykonaniu s kroków. Dla nieskorelowanych wartości x_i sygnału, otrzymujemy tzw. dyfuzję Ficka, którą opisuje zależność: $F_2(s) \sim s^\alpha$, gdzie: $\alpha \approx H$. W tym wypadku eksponent fluktuacji α jest niemal identyczny z wykładnikiem Hursta H dla monofraktalnego szeregu czasowego i jest związany z wykładnikiem gamma relacją: $2H \approx 2\alpha = 2 - \gamma$.

Zakres wykładnika α , który można analizować przedstawioną w tym punkcie metodą FA jest ograniczony do przedziału: $0 < \alpha < 1$, gdzie ponownie występują znaczące błędy i metoda ta nie daje w tak zdefiniowanych warunkach brzegowych rzetelnych informacji o sygnale. Jak w poprzednich rozważaniach, tak i tutaj można zastosować operację całkowania, bądź różniczkowania by odpowiednio zwiększyć i zmniejszyć wartość wykładnika. Kolejnym ważnym czynnikiem, który należy rozpatrzyć celem upewnienia się co do rzetelności otrzymywanych wyników, jest ograniczenie wynikające z rozmiaru skali s , która nie powinna być większa niż jedna dziesiąta całego, analizowanego szeregu czasowego, kryterium to można zapisać w postaci: $s < \frac{N}{10}$

Wybrane metody analizy niestacjonarnych szeregów czasowych

DFA (ang. Detrended Fluctuation Analysis)

Wstęp

Jednym z wymagań przedstawionej poniżej analizy MFDFA (*ang. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*) jest wcześniejsze poddanie analizie sygnału celem ustalenia wykładnika Hursta, który determinuje charakter rozpatrywanego sygnału. W zależności od tego wykładnika badany sygnał musi zostać poddany operacji różniczkowania, całkowania, podwójnego całkowania, bądź nie jest poddany żadnej operacji przed wykorzystaniem metody MFDFA. W punkcie tym opisano więc podstawy teoretyczne i obliczeniowe metody DFA (*ang. Detrended Fluctuation Analysis*) niezbędnej do wykonania przed skorzystaniem z właściwej analizy MFDFA.

Analiza DFA jest algorytmem, który służy do wyznaczenia dalekozasięgowych korelacji w przedstawionej w formie zależności potęgowej (*ang. power-law form*) [Peng et al., 1995] [Hardstone et al., 2012] oraz stopniowe zanikanie tych autokorelacji. DFA przedstawia, w jakim tempie dane korelacje zanikają i jaki jest ich charakter, o czym mówi bezpośrednio wspomniany wykładnik potęgowy, zwany wykładnikiem Hursta – oznaczany symbolem H. Przyjmuje on następujące wartości:

- Brak korelacji (sygnał nieskorelowany – szum): $H \approx 0,5$;
- Antykorelacje (*anti-correlated sequence*): $0 < H < 0,5$;
- Tymczasowe, dalekozasięgowe korelacje: $0,5 < H < 1,0$; LRCT (*ang. long-range temporal correlations*);
- Silne korelacje, które nie są opisywane przez zależność potęgową: $H > 1$;

Analiza wykładnika Hursta dostarczyła wielu informacji o danych LRCT (*ang. long-range temporal correlations*), które odpowiadają za dynamikę układu: samo-organizujących się, wielojednostkowych systemów, charakteryzujących się fluktuacjami, które ujawniają się w specyficznej kolejności, o której informuje wykładnik Hursta.

Formalizm matematyczny

Podobnie do metody FA (*ang. fluctuation analysis*) w pierwszym kroku metody DFA należy wyznaczyć tzw. profil analizowanego sygnału, zgodnie z poniższymi równaniami:

$$\tilde{x}_i = x_i - \langle x \rangle = x_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$Y(j) = \sum_{i=1}^j \tilde{x}_i, j = 0, 1, 2, \dots, N,$$

gdzie: x_i , to szereg czasowy, na który składa się N próbek, gdzie $i = 1, \dots, N$, które pobierane zostały z jednakową częstotliwością próbkowania.

Podobnie jak poprzednio, tak otrzymany profil jest dzielony na $N_s = \text{int}(N/s)$ nienakładających się na siebie segmentów o rozmiarze s numerowanych od początku sygnału i kolejnych N_s segmentów numerowanych od końca sygnału. Uzasadnienie tego podejścia zostało już wyjaśnione w poprzednich punktach. W dalszej kolejności oszacowuje się trend w postaci

wielomianu $y_{v,s}^m(j)$ stopnia m , dla każdego z segmentów v poprzez wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów i późniejszym odjęciu tak oszacowanego trendu od otrzymanego powyżej profilu:

$$\tilde{Y}_s(j) = Y(j) - y_{v,s}^m(j)$$

Wariancję danego profilu, z którego odjęto wielomian trendu, tzw. *detrended profile*, można wyliczyć dla każdego z segmentów v w następujący sposób:

$$F_{DFAm}^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \tilde{Y}_s^2(j)$$

Ponownie, z tych samych powodów przedstawionych w metodyce analizy FA, należy zastosować procedurę uśredniającą dla segmentów numerowanych od początku i od końca danego sygnału:

$$F_2(s) = \left[\frac{1}{2N_s} \sum_{v=0}^{2N_s-1} F_{DFAm}^2(v, s) \right]^{1/2} \sim s^\alpha$$

Jeśli wartości $F_2(s)$ zwiększą się wraz ze zwiększającą wartością parametru s poprzez zachodzącą relację $F_2(s) \sim s^\alpha$, gdzie $0,5 < \alpha < 1$, wtedy można założyć przybliżenie $\alpha \approx H$, gdzie zachodzi także poprzednio wspomniana relacja $\alpha = 1 - \gamma/2$. W przypadku analizy DFA maksymalna wartość parametru α wynosi $m + 1$, gdzie m to stopień dopasowywanego wielomianu – linii trendu dla danego segmentu. Wynika z tego, iż większe stopnie wielomianów należy użyć, w przypadku sygnału o dużej niestacjonarności, czyli w obecności dużego rozrzutu wartości średniej.

Znaczne odchyłki od zależności $F_2(s) \sim s^\alpha$ oraz $\alpha \approx H$ występują dla małych wartości s , a w szczególności w przypadku, gdy używa się dużych stopni m dopasowywanych wielomianów. Powodują one przeszacowanie wykładnika α fluktuacji. Odchyłki te ograniczają możliwości zastosowania metody DFA w określeniu prawidłowych korelacji w bardzo krótkich sygnałach oraz w segmentach o niskiej wartości parametru s .

W porównaniu do metody FA przedstawionej w poprzednim punkcie fluktuacje w tej metodzie przyjmują większe wartości, w porównaniu do metody DFA. Z tego powodu analiza DFA oparta jest na wartościach s mniejszych od $s_{max} = N/4$, gdzie w przypadku analizy FA ograniczenie to wynosiło $s_{max} = N/10$.

W pracy “*Comparison of detrending methods for fluctuation analysis*¹⁴” zbadano dokładność wykładeników fluktuacji α w metodzie DFA, w funkcji długości analizowanego szeregu czasowego N . Zakres zmienności parametru s przyjęto na $[10, N/2]$. Rezultatem przeprowadzonych badań było stwierdzenie, iż odchylenie standardowe parametru α wynosi w przybliżeniu 0,1 dla sygnału złożonego z $N = 500$ próbek, 0,05 dla sygnału, na który składa się $N = 3\,000$ próbek oraz 0,03 dla $N = 10\,000$ próbek.

Zastosowania numeryczne

Otrzymany sygnał ma najczęściej charakter szumu, gdzie w przypadku analizy MFDFA analizowane sygnały powinny mieć charakter błędzenia losowego (*ang. random walk-like time series*). Rozważania zawarte w poprzednim punkcie „*Procedura przygotowania sygnału celem dalszego przetworzenia metodą MFDFA*” aplikują się do poniższych kryteriów wg., których zakładamy występowanie sygnału wejściowego o charakterze szumu. Odpowiednie kryteria konwersji sygnałów poddawanych analizie zostały także zawarte w tym punkcie.

Wejściowy szereg czasowy o charakterze szumu należy przekształcić na sygnał o charakterze błędzenia losowego. W tym celu od sygnału należy odjąć jego wartość średnią i tak otrzymany szereg poddać operacji całkowania:

Kod 1: Konwersja sygnału o charakterze szumu na sygnał o charakterze błędzenia losowego.

Kod #1

```
X = cumsum(signal - mean(signal));
```

¹⁴ A. Bashan, R. Bartsch, J.W. Kantelhardt, S. Havlin, *Comparison of detrending methods for fluctuation analysis*, Physica A 2008.

Gdzie:

- signal – analizowany szereg czasowy
- mean(signal) – średnia wartość szeregu czasowego
- cumsum(Y) – zwraca tablicę wartości o długości argumentu ‘Y’ zawierającą sumy kolejno dodawanych argumentów

Kolejnym krokiem jest podzielenie analizowanego szeregu czasowego na segmenty jednakowych rozmiarów, które nie zachodzą na siebie i wyliczenie wartości fluktuacji, czyli wartości średniokwadratowej (*ang. Root Mean Square - RMS*) dla poszczególnych segmentów. Poniżej zamieszczono kod źródłowy tej operacji. Kod źródłowy jest uzupełniany tak, że zawiera poprzednie rozważania, które zaznaczono kolorem szarym.

Parametr scale, będący wektorem szeregowym definiuje rozmiary segmentów, dla których wyliczana jest wartość *RMS*. Szybkozmienne fluktuacje w szeregu czasowym X wpływają na całkowitą wartość fluktuacji $F(ns)$ dla małych rozmiarów segmentów. Całkowita wartość fluktuacji $F(ns)$ zdefiniowana jest jako wartość średniokwadratowa ze zbioru fluktuacji dla poszczególnych segmentów $RMS\{1\}(v)$ otrzymanych w wyniku zastosowania powyższego *kodu #2*. Dla segmentów o dużych rozmiarach, czyli dużych wartościach parametru scale, wolnozmienne fluktuacje będą miały większy wpływ na średnią wartość całkowitą fluktuacji $F(ns)$, zwaną także funkcją skalującą.

Występowanie tej zależności, czyli odmiennego wpływu na funkcję skalującą $F(ns)$ wolno- i szybkozmennych fluktuacji w zależności od rozpatrywanej skali, stwarza konieczność obliczenia wartości F dla szeregu skal, co tłumaczy zastosowany w kodzie #2 wektor wierszowy $scale = \{16,32,64,128,256,512,1024\}$. Wartości te są potęgą liczby 2.

Kod 2: Kalkulacja lokalnych wartości fluktuacji

Kod #2

```
X = cumsum(signal - mean(signal));  
X = transpose(X);  
scale = {16,32,64,128,256,512,1024};  
m = 1;  
  
for ns=1:length(scale)  
    segments(ns) = floor(length(X)/scale(ns))  
    for v=1:segments(ns)  
        Idx_start = ((v-1)*scale(ns))+1;  
        Idx_stop = v*scale(ns);  
        Index{v,ns} = Idx_start:Idx_stop;  
        X_Idx = X(Index{v,ns});  
        C = polyfit(Index{v,ns}, X(Index{v,ns}),m);  
        fit{v,ns} = polyval(C, Index{v,ns});  
        RMS{ns}(v) = sqrt(mean((X_Idx-fit{v,ns}).^2));  
    end  
    F(ns) = sqrt (mean(RMS{ns}.^2));  
end
```

Zmienna m odpowiada stopniowi dopasowywanego wielomianu. Następnie inicjowana jest pierwsza pętla, która odpowiada za obliczenie wartości fluktuacji dla wszystkich zdefiniowanych skal. Zmienna `segments(ns)` określa całkowitą liczbę segmentów, na które może być podzielony analizowany sygnał w zależności od zastosowanej skali i długości analizowanego szeregu czasowego. Funkcja `floor(y)` jest funkcją zwracającą rzeczywistą i całkowitą część argumentu ‘y’. Następnie inicjowana jest kolejna pętla, która wylicza lokalną wartość fluktuacji dla aktualnie

występującej w poprzedniej pętli skali, czyli wartości parametru *RMS* dla danego segmentu, wokół trendu $\text{fit}\{v, ns\}$. Realizowane jest to poprzez kolejne nadpisywania zmiennej $\text{Index}\{v, ns\}$. Dla każdego przejścia pętli, gdzie zmienna v zwiększa swoją wartość o 1, aż do osiągnięcia wartości odpowiadającej liczbie segmentów uzyskanych z danego szeregu czasowego, zmienna $\text{Index}\{v\}$ przyjmuje wartości od 1 do scale dla pierwszego przejścia, gdzie w ogólnosci można zapisać: od $(v - 1) \times \text{scale}(ns) + 1$ do $v \times \text{scale}(ns)$, czemu odpowiadają zmienne Idx_start oraz Idx_stop .

Funkcja $p = \text{polyfit}(x, y, n)$ znajduje współczynniki wielomianu $p(x)$ stopnia n , który jest najlepszym dopasowaniem $p(x(i))$ do $y(i)$ w sensie metody najmniejszych kwadratów. Otrzymana zmienna p jest wektorem wierszowym o długości $n+1$, który zawiera współczynniki wielomianu w kolejności malejących potęg:

$$p(x) = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + p_3 x^{n-2} + \dots + p_n x^1 + p_{n+1}$$

Funkcja *polyval* w postaci: $y = \text{polyval}(p, x)$, zwraca wartość wielomianu p dla zmiennej x . Zmienna p jest wektorem wierszowym o długości $n+1$. W *kodzie #2* jest to wektor wierszowy otrzymany w wyniku powyżej opisanej funkcji *polyfit*. W końcu obliczana jest wartość lokalnej fluktuacji dla badanego segmentu poprzez obliczenie wartości średniokwadratowej z pozostałą wariacją: $X(\text{Index}\{v\} - \text{fit}\{v\})$.

W wyniku zastosowania powyższego kodu otrzymuje się szereg wektorów wierszowych $\text{RMS}\{ns\}$ o długości odpowiadającej liczbie segmentów dla zastosowanej skali oraz wartość funkcji skalującej $F(ns)$, dla zastosowanych skali. DFA służy do identyfikacji monofraktalnej struktury szeregu czasowego gdzie, zgodnie z rozważaniami teoretycznymi zawartymi w poprzednich punktach, występuje relacja potęgowa (*ang. power law*) między całkowitą, czy uogólnioną wartością średniokwadratową, nazywaną funkcją skalującą $F(ns)$ obliczoną dla podanych skali. Relacja potęgowa reprezentowana jest przez zbocze charakteryzowane wykładnikiem H – wykładnikiem Hursta. Zbocze konstruuje się poprzez zastosowanie regresji liniowej dla otrzymanej funkcji skalującej $F(ns)$.

Kod 3: Zastosowanie regresji liniowej dla otrzymanej funkcji skalującej.

Kod #3

```
X = cumsum(signal - mean(signal));  
X = transpose(X);  
scale = {16,32,64,128,256,512,1024};  
m = 1;  
for ns=1:length(scale)  
    segments(ns) = floor(length(X)/scale(ns))  
    for v=1:segments(ns)  
        Idx_start = ((v-1)*scale(ns))+1;  
        Idx_stop = v*scale(ns);  
        Index{v,ns} = Idx_start:Idx_stop;  
        X_Idx = X(Index{v,ns});  
        C = polyfit(Index{v,ns}, X(Index{v,ns}),m);  
        fit{v,ns} = polyval(C, Index{v,ns});  
        RMS{ns}(v) = sqrt(mean((X_Idx-fit{v,ns}).^2));  
    end  
    F(ns) = sqrt (mean(RMS{ns}.^2));  
end  
C = polyfit(log2(scale), log2(F),1)  
H = C(1)  
RegLine = polyval(C,log2(scale))
```

Nachylenie zbocza tak wyznaczonej linii regresji odpowiada wartości wykładnika Hursta – H, który określa strukturę monofraktalną szeregów czasowych, mówiąc jak szybko funkcja skalująca F zwiększa swoją wartość, wraz ze wzrostem rozmiaru próbki. Większe wartości wykładników Hursta uwidaczniają się w postaci większej ilości wolnozmiennych wariacji. Wykładownik Hursta informuje o charakterze rozpatrywanego sygnału: dla wartości z przedziału <0,1> będzie definiował sygnał o charakterze szumu, z kolei dla wartości powyżej 1 będzie opisywał szereg czasowy charakteryzujący się strukturą błądzenia losowego (*ang. random walk like time series*).

Dany szereg czasowy posiada długozasięgowe korelacje, gdy wykładnik Hursta mieści się w przedziale $<0.5, 1>$, z kolei antykorelacje występują dla przedziałów $<0, 0.5>$. W przypadku, gdy wykładnik Hursta dla badanego szeregu czasowego wynosi 0.5 nie występują korelacje, bądź mają one charakter krótkozasięgowy, mówi się wtedy o szeregu o niezależnej strukturze (*ang. independent time series structure*).

Celem niniejszego rozdziału było opisanie metody DFA, gdyż metoda MFDFA bazuje bezpośrednio na rozważaniach zawartych w niniejszym rozdziale i stanowi ich rozszerzenie. Dodatkowo, jednym z warunków zastosowania metody MFDFA opisanej w punkcie „*Procedura przygotowania sygnału celem dalszego przetworzenia metodą MFDFA*” jest wykonanie wstępnej analizy danego sygnału metodą DFA celem wyznaczenia wykładnika Hursta i ewentualnych dalszych modyfikacji sygnału.

Multifraktalne szeregi czasowe

Wstęp

W przypadku, gdy dany szereg czasowy nie charakteryzuje się prostą zależnością monofraktalną, w której występuje pojedynczy wykładnik skalujący, można mieć do czynienia ze zjawiskiem *crossover* opisany w poprzednim punkcie. Następuje wtedy zachodzenie skal czasowych, oznaczanych symbolem s_x , które oddzielają regiony z różnymi wykładnikami skalującymi. W innych przypadkach zachowanie skalujące jest bardziej skomplikowane, co oznacza konieczność użycia wielu wykładników skalujących dla różnych części analizowanego sygnału – szeregu czasowego. Czasami można zaobserwować to zjawisko dla wielu, przeplatających się podzbiorów fraktalnych danego szeregu czasowego. W takim przypadku konieczne jest wyznaczenie wielu wykładników skalujących dla danego, analizowanego fragmentu szeregu czasowego.

Multifraktalność szeregu czasowego może mieć kilka źródeł związanych z szeroką dystrybucją prawdopodobieństwa – funkcją gęstości (dystrybucją Levy'ego), bądź obecnością różnych długozasięgowych korelacji dla małych i dużych fluktuacji. W ostatnim przypadku dystrybucja prawdopodobieństwa może być regularną dystrybucją ze skończoną liczbą momentów statystycznych, jak np. dystrybucja Gaussowska. Analiza multifraktalna ma za zadanie także ukazanie korelacji wyższych rzędów.

Funkcja strukturalna i spektrum osobliwe

W formalizmie multifraktalnym, który nie dotyczy wyłącznie szeregow czasowych, rozważa się znormalizowany parametr $\mu(t)$, gdzie $t \in [0,1]$, a także definiuje się tzw. okna prawdopodobieństw $\tilde{\mu}_s(t) = \int_{t-s/2}^{t+s/2} \mu(t') dt'$, w sąsiedztwie skali $s \ll 1$ wokół punktu t .

W kolejnym kroku wprowadza się funkcję podziału:

$$Z_q(s) = \sum_{v=0}^{1/s-1} \tilde{\mu}_s^q [(v + 1/2)s] \sim s^{\tau(q)}, \text{ dla } s \ll 1$$

W równaniu tym $\tau(q)$ jest czynnikiem skalującym Renyi'ego, a parametr q jest parametrem rzeczywistym, który może przyjąć dodatnie i ujemne momenty. Gdy $\tau(q)$ zależy w sposób liniowy od q dla danego szeregu czasowego, wtedy szereg ten jest szeregiem monofraktalnym, bądź samopodobnym. Gdy ta relacja nie zachodzi, analizowany szereg jest szeregiem multifraktalnym. Uogólniony wymiar multifraktalny oznaczany symbolem $D(q)$ jest związany z czynnikiem skalującym Renyi'ego relacją $D(q) = \tau(q)/q - 1$, przy czym dla $q = 0$, $D(0) = -\tau(0)$.

W przypadku analizy szeregow czasowych, gdzie operuje się skończoną liczbą próbek danego sygnału, konieczne jest wykorzystanie dyskretnej analizy tego sygnału, gdzie jego wartości mogą być wartościami ujemnymi. Dla liczby przedziałów $N_s = \text{int}(N/s)$ oraz profilu $X(v, s) = \sum_{i=1}^s x_{vs+i}$, dla $v = 0, \dots, N_s - 1$ można zredefiniować funkcję podziału następująco:

$$Z_q(s) = \sum_{v=0}^{N_s-1} |X(v, s)|^q \sim s^{\tau(q)}, \quad \text{dla } s > 1$$

Posługując się przedstawionymi wcześniej równaniami na profil $Y(j)$ oraz na fluktuację z $F_{FA}(v, s)$ metody FA (*ang fluctuation analysis*):

$$Y(j) = \sum_{i=1}^j \tilde{x}_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, N$$

$$F_{FA}^2(v, s) = [Y(vs) - Y((v+1)s)]^2,$$

Po podstawieniu tych równań do powyższego równania na profil $Z_q(s)$ otrzymuje się zależność:

$$Z_q(s) = \sum_{v=0}^{N_s-1} \left\{ [Y((v+1)s) - Y(vs)]^2 \right\}^{q/2} = \sum_{v=0}^{N_s-1} F_{FA}^{q/2}(v, s)$$

Powyższe podejście można uważać za uogólnienie metodyki przedstawionej w analizie FA (*ang. fluctuation analysis*), w którym to wykładnik liczbowy 2 zastąpiono zmienną q . Po uśrednieniu wartości $F_{FA}^{q/2}$ z pominięciem sumowania dla drugiego podziału danego szeregu czasowego, gdzie rozpatrywany jest on od końca, otrzymujemy średnią wartość fluktuacji oraz uogólniony, czyli multifraktalny wykładnik Hursta $h(q)$, dla momentów skalujących stopnia q rozpatrywanej fluktuacji:

$$F_q(s) = \left[\frac{1}{N_s} Z_2(s) \right]^{1/q} \sim s^{[1+\tau(2)]/2} = s^{h(q)} \Rightarrow h(q) = \frac{1+\tau(q)}{q}.$$

Gdzie dla $q = 2$ zachodzi relacja $h(q) = h(2) = \alpha \approx H$.

Spektrum osobliwe $f(\alpha)$ (*ang. singularity spectrum*) jest jedną z dodatkowych metod służących charakterystyce szeregów multifraktalnych. Spektrum to związane jest z czynnikiem skalującym Renyi'ego $\tau(q)$ następującą relacją:

$$\alpha = \frac{d}{dq} \tau(q) \quad \text{oraz} \quad f(\alpha) = q\alpha - \tau(q),$$

Gdzie α jest w tym równaniu tzw. siłą osobliwości (*ang. singularity strength*) zwany także wykładnikiem Höldera, a spektrum osobliwe $f(\alpha)$ określa wymiar analizowanego podzbioru, który jest charakteryzowany przez wykładnik Höldera α . Korzystając z dwóch poprzednich równań wynika następująca relacja:

$$\alpha = h(q) + qh'(q) \quad \text{oraz} \quad f(\alpha) = q[\alpha = h(q)] + 1$$

Multifractal detrended fluctuation analysis (MFDFA)

Wstęp

Wiele szeregów czasowych nie można scharakteryzować wyłącznie jednym skalującym czynnikiem eksponencjalnym, który charakteryzuje metody monofraktalne omówione w poprzednich punktach. Można jednak zaobserwować w analizowanych szeregach czasowych długozasięgowe korelacje dla małych skal i ich brak, bądź inny typ korelacji, dla skal większych. Zazwyczaj sygnał ma naturę bardziej skomplikowaną, co oznacza konieczność zastosowania

szerokiej gamy czynników skalujących, dla różnych części analizowanego szeregu czasowego. Praca Kantelhadrta¹⁵ i współpracowników wyróżnia multifraktalny charakter szeregów czasowych ze względu na szerokie spektrum prawdopodobieństwa oraz ze względu małe i duże fluktuacje w analizowanym szeregu, które odpowiadają za długozasięgowe korelacje. W tym ostatnim przypadku spektrum prawdopodobieństwa może mieć charakter dystrybucji Gaussowskiej, ze skończoną liczbą momentów statystycznych. Metoda MFDFA (*ang. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*) oparta jest na generalizacji metody DFA opisanej w poprzednim punkcie.

Matematyczny opis metody

Standardowa procedura MFDFA składa się z pięciu kroków, z których pierwsze trzy dotyczą metody DFA, która została opisana w poprzednim punkcie. W poniższych rozważaniach posłużono się identyczną notacją, jak w pracy Kantelhadrta¹⁶. Numeryczna zastosowanie metod MFDFA, wraz z kodem programu Matlab zamieszczono w osobnym punkcie wraz z zestawieniem wyrażeń matematycznych z kodem źródłowym.

Krok 1

Wyznaczenie tzw. „profilu”. Dla danego szeregu czasowego x_k o długości N , nazywanego wymiennie sygnałem, o zwartym nośniku, tj. $x_k = 0$, dla nieznacznego ułamka wartości, stosuje się odjęcie wartości średniej tego sygnału:

$$Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle], \text{ gdzie } i = 1, \dots, N.$$

Krok 2

Podzielenie otrzymanego w *kroku 1* sygnału przez na liczbę N_s niezachodzących na siebie segmentów o stałym rozmiarze s .

$$N_s \equiv \text{int}\left(\frac{N}{s}\right), \text{ gdzie:}$$

$\text{int}(x)$ – oznacza wartość całkowitą wyrażenia x ,

¹⁵ J. W. Kantelhardt et al. *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series*, 2002

¹⁶ Ibidem.

N – długość bądź inaczej liczba wartości szeregu czasowego dla jednej zmiennej,
 s – rozmiar segmentu, czyli liczba wartości szeregu czasowego brana pod uwagę,
 by podzielić otrzymany sygnał na segmenty o jednakowym rozmiarze.

W praktyce N (długość szeregu czasowego) nie jest wielokrotnością rozmiaru segmentu s , więc niewielka część sygnału nie zostaje włączona do następnego segmentu, co, dla małych rozmiarów pozostającego fragmentu w stosunku do długości całego sygnału, pozostaje bez większego znaczenia. Techniką pozwalającą na uwzględnienie tego nieanalizowanego fragmentu jest powtórzenie obliczeń zaczynając od końca tego szeregu czasowego, co w konsekwencji daje $2N_s$ segmentów.

Krok 3

Obliczenie lokalnych trendów dla każdego z otrzymanych segmentów – w przypadku zastosowania techniki omówionej w poprzednim punkcie dysponuje się zestawem $2N_s$ segmentów. Lokalne trendy wylicza się poprzez metodę najmniejszych kwadratów. W następnej kolejności oblicza się wariancję:

$$F^2(s, v) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s + i] - y_v(i)\}^2, \text{ dla:}$$

v – numer segmentu, którego wartości mieszczą się w przedziale $[1, \dots, N_s]$,

Oraz:

$$F^2(s, v) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[N - (v - N_s)s + i] - y_v(i)\}^2, \text{ dla:}$$

v – numer segmentu, którego wartości mieszczą się w przedziale $[N_s + 1, \dots, 2N_s]$.

Gdzie:

$y_v(i)$ – to dopasowywany wielomian w rozpatrywanym segmencie v . Dopasowywany wielomian może być liniowy, tj. pierwszego stopnia, kwadratowy, sześcienny, bądź wyższych stopni.

Badanie tendencji zmian analizowanego sygnału opiera się na różnicy dopasowanego wielomianu z tzw. profilu - szeregu czasowego otrzymanego poprzez odjęcie od wartości sygnału jego średniej wartości

(*krok 1*). W praktyce numerycznej parametr ten zazwyczaj przyjmuje wartości z przedziału {1,2,3} – patrz podpunkt „Stopień m dopasowywanej linii trendu” w dalszej części rozważań teoretycznych w punkcie: [Procedura przygotowania sygnału celem dalszego przetworzenia metodą MFdfa](#).

Krok 4

Obliczenie średniej wartości sygnału dla wszystkich segmentów v , celem uzyskania funkcji fluktuacji stopnia q .

$$F_q(s) \equiv \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \left[F^2(s, v) \right]^{q/2} \right\}^{1/q}, \text{ gdzie:}$$

q – stopień funkcji fluktuacji, który może przyjąć każdą wartość rzeczywistą za wyjątkiem zera.

Celem analizy jest zbadanie zależności funkcji $F_q(s)$ i jej zależności od skali s dla różnych wartości parametru q , dlatego często zaleca się wykonanie kroków 2 do 4 dla kilku różnych wartości. Wartość funkcji $F_q(s)$ będzie się zwiększać

Krok 5

Wyznaczenie skalowania funkcji fluktuacji poprzez analizę wykresu w skali logarytmicznej, gdzie na osi rzędnych umieszczono funkcję $F_q(s)$, natomiast na osi odciętych umieszczono rozmiar segmentu s . Wartość funkcji $F_q(s)$ zwiększa się wraz z rosnącym s dla analizowanych szeregów czasowych, w których występują korelacje długozasięgowe. Jest to relacja potęgowa, którą można zapisać w postaci równania: $F_q(s) \sim s^{h(q)}$, gdzie $h(q) = \frac{1+\tau(q)}{q}$.

Parametr $h(q)$, dla szeregów stacjonarnych, gdzie $q = 2$ jest równoważny z *wykładnikiem Hursta*. W dalszych rozważaniach $h(q)$ będzie nazywany *uogólnionym wykładnikiem Hursta*.

Dla bardzo dużych rozmiarów skal $s > N/4$ obliczona w kroku 4 funkcja przestaje być znacząca statystycznie, gdyż liczba segmentów N_s dla tej procedury uśredniającej staje się bardzo mała. Z tego powodu rozmiary skal $s > N/4$ powinny być wyłączone spod procedury dopasowywania wykładnika $h(q)$. Także dla małych skal $s \approx 10$ występować mogą systematyczne odchylenia czynników skalujących, jednak nie są one znaczące.

Wartość $h(0)$ odpowiada granicy $h(q)$, gdzie $q \rightarrow 0$ i nie może być wyznaczona bezpośrednio przy użyciu równania z kroku 4 z powodu rozbieżności wykładnika. Procedura uśredniania logarytmicznego używana jest w tym przypadku:

$$F_0 = \exp \left\{ \frac{1}{4N_s} \sum_{v=1}^{2N_s} \ln[F^2(v, s)] \right\} \sim s^{h(0)}$$

W przypadku szeregów monofraktalnych z zwartym nośnikiem zależność $h(q)$ nie występuje, tj. $h(q)$ jest niezależne od wartości q , gdyż zależność skalowania funkcji $F^2(s, v)$ jest identyczne dla każdego z segmentu v . W przypadku, gdy duże i małe fluktuacje zachowują się inaczej dla różnych skal, wtedy można rozróżnić zależność $h(q)$ od q .

Rozważając dodatnie wartości stopnia q można dojść do wniosku, iż segmenty v z dużymi wartościami fluktuacji, czyli dużymi wartościami wariancji $F_s^2(v)$, będą dominowały w wartości średniej $F_q(s)$. Wynika z tego, że dodatnie wartości q opisują skalowanie segmentów z dużymi wartościami fluktuacji, które zazwyczaj są charakteryzowane przez mniejsze wartości parametru $h(q)$ dla szeregów multifraktalnych. Odpowiednio odwrotna relacja zachodzi dla ujemnych wartości parametru q : segmenty v z małymi wartościami wariancji $F_s^2(v)$ będą dominowały w wartości średniej $F_q(s)$. I dalej odpowiednio: dla ujemnych q , $h(q)$ opisuje skalowanie segmentów z małymi wartościami fluktuacji, które z reguły charakteryzują duże wartości $h(q)$.

Dla sygnałów, dla których $h(q)$ jest bliskie zeru, czyli sygnałów, w których zaobserwować można silne antykorelacje, metoda MF-DFA w staje się mało dokładna i wymaga pewnych dodatkowych operacji. Jedną z najprostszych technik jest całkowanie szeregu czasowego przed przystąpieniem do wykonania procedury MFdfa:

$$Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i (\sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle]), \text{ gdzie } i = 1, \dots, N.$$

Porównując powyższe równanie z równaniem w kroku 1 zauważać można dodatkową sumę składników, która odpowiada operacji numerycznego całkowania.

W wyniku zastosowania przedstawionej metodyki otrzymuje się uogólnione funkcje fluktuacji w postaci następującego równania skalowania: $\tilde{F}_q(s) \sim s^{\tilde{h}(q)} = s^{h(q)+1}$, jednak z dużymi wykładnikami $\tilde{h}(q) = h(q) + 1$. Należy też zauważyć, że $\frac{\tilde{F}_q(s)}{s} = F_q(s)$.

Procedura przygotowania sygnału celem dalszego przetworzenia metodą MFDFA.

Zastosowanie DFA do badania natury sygnału - szum i błędzenie losowe

Otrzymany, bądź zmierzony wcześniej sygnał należy poddać pewnym przekształceniom celem upewnienia się, że wynik wyjściowy całej analizy MFDFA przedstawionej w poprzednich punktach jest rzetelny i niesie z sobą rzeczywiście użyteczną informację. Struktura otrzymanego sygnału powinna, więc być podobna do szumów, zanim używa się jednej z implementacji metody MFDFA. Kolejnym krokiem jest upewnienie się, że rozrzut lokalnych fluktuacji nie jest bliski zera. Dalej, otrzymany sygnał musi być niezależny od skali (*ang. scale invariant*). W końcu parametry wejściowe oznaczone zmiennymi scale, q oraz m w przedstawionych wcześniej metoda, muszą zostać dokładnie zdefiniowane dla rodzaju sygnału, który poddano analizie.

Celem określenia, czy otrzymany sygnał ma naturę szumu multifraktalnego, fraktalnego, bądź jest przypadkiem tzw. błędnego losowego można posłużyć się analizą DFA (*ang. detrended fluctuation analysis*). Jeśli otrzymany szereg czasowy charakteryzuje się wykładnikiem Hursta zawartym w przedziale od 0.2 do 0.8¹⁷, wtedy otrzymany sygnał charakteryzuje się strukturą szumową, co pozwala na uniknąć modyfikacji danego sygnału. W przeciwnym wypadku, gdy wykładnik Hursta otrzymany z metody DFA mieści się w przedziale domkniętym od 1.2 do 1.8, wtedy natura sygnału przypomina błędnego losowego, w tym przypadku koniecznym okazuje się opuszczenie operacji całkowania sygnału w wyżej wymienionych metodach MFDFA, bądź zróżniczkowanie go. W przypadku, gdy dysponowania sygnałem o charakterze błędnego losowego, należy dodać +1 do zmiennych Hq, hq oraz tq opisanych dla pierwszej metody MFDFA, oraz także +1 dla parametrów Ht, Htbin dla drugiej metody MFDFA.

¹⁷ Eke et al.(2002), Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals

Tabela 1. Podsumowanie rodzaju stosowanych konwersji sygnału i dopasowywanych parametrów numerycznych metod MFDFA zaprezentowanych w poprzednich punktach, w zależności od otrzymanego wykładnika Hursta uzyskanego z metody DFA.

| Wykładnik Hursta (H) | Stosowana konwersja | Dopasowanie parametru Hq bądź Ht |
|-------------------------|---|-------------------------------------|
| < 0,2 | Operacja całkowania na sygnale po odjęciu wartości średniej | -1 |
| 0,2 – 0,8 | Brak konwersji | 0 |
| 0,8 – 1,2 | Brak konwersji | 0 |
| 1,2 – 1,8 | Różniczkowanie | +1 |
| > 1,8 | Podwójne różniczkowanie | +2 |

Problem bliskich zeru wartości lokalnych fluktuacji

Jeśli w wyniku zastosowania jednej z dwóch przedstawionych wcześniej metod MFDFA w wyniku otrzymano bardzo duże wartości wykładnika Hursta reprezentowanego przez parametry Hq, bądź Ht w przedstawionych zastosowaniach numerycznych – tj., jeśli jego wartość będzie dużo większa od 1,5, to oznacza to problem z lokalnymi wartościami średnio kwadratowymi danego, badanego sygnału (RMS – ang. *Root Mean Square*). Skutkuje to błędami w spektrum multifraktalnym w przypadku wartości RMS bliskich zeru, co objawia się, jako duże, prawe „ogony” we wspomnianym spektrum. Problem ten można stosunkowo łatwo obejść implementując dodatkowe metody w MFDFA, które polegają na odrzuceniu, bądź nie obliczaniu wartości RMS poniżej pewnego, zdefiniowanego progu. Próg ten może odpowiadać precyzyji urządzenia czy oprogramowania, przy pomocy, którego generowano szeregi czasowe.

Najmniejsza wartość *scale* powinna być dużo większa od stopnia dopasowywanego wielomianu *m* celem uniknięcia niewłaściwego dopasowania linii trendu.

Niezależność od skali szeregu czasowego

Kolejnym elementem dotyczącym natury sygnału poddawanej analizie MFDFA jest sprawdzenie niezależności od skali (ang. *scale invariance*) otrzymanego sygnału, gdyż każda z

numerycznych aplikacji MFdfa zakłada spełnienie tego warunku. Niespełnienie warunku „*scale invariance*” skutkuje brakiem liniowej zależności pomiędzy logarytmem o podstawie 2 z zmiennej *scale* [$\log_2(\text{scale})$], a logarymem o podstawie dwa z F_q [$\log_2(F_q)$], gdzie F_q oznacza całkowitą wartość RMS (wartości średnio kwadratowej, która jest miarą fluktuacji) dla stopnia q . Rozwiązaniem tego problemu jest zazwyczaj kilkukrotnie poddanie analizie MFdfa danego sygnału, przy czym każdorazowo przy zastosowaniu innej wartości parametru m – stopnia dopasowywanych wielomianów. Wspomniany wcześniej problem z wartościami RMS bliskimi zeru także rzutuje na możliwość braku niezależności od skali (*ang. scale invariance*).

Problem ten może także występuwać w przypadku samej natury badanych sygnałów. Przykład taki zaprezentowano w pracy: *Collins and De Luca, 1993 - Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories*, gdzie obserwowano kołysanie postawy ludzi, których środek ciężkości posiada wyraźne dwa regiony, które reprezentują dwa centra kontroli równowagi. Celem wykrycia tych podregionów z niezależnością od skali „*scale invariance*” należy sporządzić wykres dla $\log_2(F_q(q==1,:)/\text{scale})$ w MFdfa1 $\text{plot}(\log_2(\text{scale}), \log_2(F_q(q==1,:)/\text{scale}))$ dla całego zakresu skal. Dla skal, gdy ta zależność nie jest stała, dla rozmiarów rozpatrywanych wartość lokalnych fluktuacji, RMS (*root mean square*) nie są niezależne od stosowanej skali. W większości przypadków literaturowych punkty te mają fenomenologiczne wyjaśnienie i nie powinny być ignorowane.

Wybór parametrów wejściowych: scale oraz q dla rozpatrywanych metod MFdfa

Scale

Jak zostało to przedstawione w poprzednich punktach, parametr *scale* jest zestawem wielu rozmiarów segmentów, które służą do wyznaczania lokalnych fluktuacji, które reprezentowane są poprzez wartość średnio kwadratową badanego sygnału (RMS – *ang. root mean square*). Wartości tablicy *scale* nie powinny zostać wybrane dowolnie, gdyż istnieją uwarunkowania statystyczne, które pomagają określić maksymalną i minimalną wartość parametru *scale*.

Wartość minimalna parametru *scale* powinna brać pod uwagę stabilność parametru RMS oraz F_q , powinna być na tyle duża, by ominąć błędy związane z obliczaniem tych parametrów. Przyjęło się, że wartość minimalna nie powinna być mniejsza od 10, dla parametru RMS przy małych wartościach parametru m – stopnia dopasowywanych wielomianów. Dodatkowo, co

zostało wspomniane wcześniej, minimalna wartość parametru *scale* powinna być znacznie większa od wartości m.

Wartość maksymalna parametru *scale* powinna uwzględniać wielkość badanego sygnału – liczby próbek. W praktyce [Kandtelhardt et al. 2002] maksymalny rozmiar tego parametru nie powinien przekraczać 0.1 rozmiaru próbki, celem zapewnienia odpowiedniej ilości segmentów do dalszej analizy, czyli, stosując te kryterium, przynajmniej 10 segmentów do dalszej analizy. Maksymalną wartość parametru *scale* należy także ograniczyć ze względu na zapewnienie rzetelnej reprezentacji dystrybucji prawdopodobieństwa, oznaczanej symbolem Ph i, w konsekwencji, spektrum multifraktalnego – Dh [Scafetta et al., 2003].

Ważnym elementem w trakcie konstrukcji tej tablicy parametrów jest uwzględnienie różnych odległości w skali logarytmicznej, celem minimalizacji błędu w trakcie stosowania regresji liniowej, która służy do obliczania wykładnika Hursta H_q o stopniu q.

Lokalny wykładnik Hursta z MFDFA2 – H_t – dla dużych wartości skal będzie charakteryzował się wolnozmienną dynamiką i „gładkim kształtem”, który to nie jest dokładną metodą do określenia dystrybucji prawdopodobieństwa Ph. Metoda MFDFA2 wymaga, więc stosowania mniejszych maksymalnych wartości parametru *scale*, niż metoda MFDFA1. Mniejsze maksymalne wartości parametru *scale* oznaczają jednak mniejszą dokładność wyznaczanych lokalnych fluktuacji RMS.

Tablica wykładników q.

Wartości tablicy wykładników q powinny zawierać zarówno dodatnie, jak i ujemne liczby, by móc odzwierciedlić regiony z dużymi i małymi odchyłkami w badanym szeregu czasowym. Dokładność obliczeń wykładnika Hursta H_q zmniejsza się wraz ze zwiększeniem liczby dodatnich i ujemnych stopniu q, powodując uwydatnienie regionów o największych, bądź najmniejszych wartościach z pominięciem wartości pośrednich. W praktyce unika się dużych wartości współczynnika q, by zminimalizować błędy numeryczne przy obliczaniu spektrum multifraktalnego, a w szczególności jej krańcowych elementów – tzw. „ogonów” (*ang. tail*).

Stopień m dopasowanej linii trendu.

Wartość średniokwadratowa sygnału (RMS), będąca miarą lokalnych fluktuacji jest obliczana dla wielomianowej linii trendu, której kształt definiowany jest przez jego

stopień – **m**. W teorii większa wartość tego parametru bardziej dokładna, gdyż reprezentuje bardziej złożony kształt, jednak w praktyce może stanowić problem dla segmentów o małych rozmiarach, co zostało już przeze mnie wspomniane wcześniej. Zaleca się, by sporządzić multifraktalne spektra dla kilku różnych wartości parametru m, przy czym najczęściej przyjmują one wartości całkowite z przedziału $<1,3>$. Porównanie tak przygotowanych widm fraktalnych umożliwia porównanie celem upewnienia się, że nie zostały one poddane wpływom niestacjonarnych trendów w szeregu czasowym.

Zastosowania numeryczne

W podpunkcie tym zamieszczono rozważania implementacji dwóch metod numerycznych MFDFA, wraz z kodem źródłowym programu MATLAB i jego zwięzłą interpretacją, gdyż rozważania matematyczne przedstawiono w innych punktach. Metoda multifraktalna jest narzędziem, które jest w stanie rozróżnić monofraktalny szereg czasowy od szeregu multifraktalnego, gdzie, w przeciwnieństwie do tego pierwszego, występują lokalne fluktuacje o dużych oraz małych amplitudach. Analizując szereg monofraktalny jego wariancje można wystarczająco opisać momentem statystycznym drugiego stopnia – wariancją. W przypadku analizy szeregu monofraktalnego, gdzie występują wspomniane wcześniej fluktuacje charakterystyczne dla tego szeregu, konieczne jest zastosowanie momentów statystycznych stopnia q.

Wspomniano wcześniej, iż metoda MFDFA jest rozszerzeniem metody DFA, więc zawarte tutaj rozważania dotyczą omówionego zagadnienia analizy DFA – patrz *Detrended Fluctuation Analysis (DFA) - Zastosowania numeryczne*. Po zdeklarowaniu wektora wierszowego ze wszystkimi żądanymi stopniami q, inicjowana jest pętla, która w swym przebiegu oblicza wartości fluktuacji (RMS) dla każdego segmentu dla danego, rozpatrywanego w danym momencie stopnia q. Tak obliczona wartość fluktuacji stopnia q – qRMS służy dalej do obliczenia funkcji skalującej Fq(nq) zależnej od stopnia q. Stopień q określa wielkość wpływu fluktuacji o dużych i małych amplitudach na funkcję skalującą stopnia q. Jak zostało wspomniane wcześniej, w rozważaniach matematycznych, dla ujemnych wartości stopnia q na funkcję podziału największy wpływ wywierają fluktuacje o małej amplitudzie. Z kolei dla dodatnich wartości stopnia q największy wpływ mają fluktuacje z dużymi amplitudami wahań. Większe dodatnie wartość tego

współczynnika bardziej uwydatniają fluktuacje z dużymi amplitudami i odpowiednio mniejsze wartości ujemnych współczynników bardziej uwydatniają fluktuacje z małymi amplitudami.

Kod 4: Modyfikacja metody DFA celem otrzymania metodyki MFDFA.

Kod #4

```
X = cumsum(signal - mean(signal));
X = transpose(X);
scale = {16,32,64,128,256,512,1024};
q = [-5,-3,-1,0,1,3,5]
m = 1;
for ns=1:length(scale)
    segments(ns) = floor(length(X)/scale(ns))
    for v=1:segments(ns)
        Idx_start = ((v-1)*scale(ns))+1;
        Idx_stop = v*scale(ns);
        Index{v,ns} = Idx_start:Idx_stop;
        X_Idx = X(Index{v,ns});
        C = polyfit(Index{v,ns}, X(Index{v,ns}),m);
        fit{v,ns} = polyval(C, Index{v,ns});
        RMS{ns}(v) = sqrt(mean((X_Idx-fit{v,ns}).^2));
    end
    for nq=1:length(q)
        qRMS{nq,ns}=RMS{ns}.^q(nq);
        Fq(nq,ns)=mean(qRMS{nq,ns}).^(1/q(nq));
    end
    Fq(q==0,ns)=exp(0.5*mean(log(RMS{1}).^2)));
end
for nq=1:length(q)
    C = polyfit(log2(scale), log2(Fq(nq,:)),1);
    Hq(nq) = C(1);
    qRegLine{nq} = polyval(C,log2(scale));
```

Kod #4 poza pętlą definiuje przypadek, w którym stopień q wynosi zero. Jest to konieczne, gdyż występujące w pętli wyrażenie dla zerowej wartości q przyjmuje postać $1/0$, które dąży do nieskończoności, gdzie oprogramowania zwróci wartość inf, odpowiadającą wewnętrznej funkcji programu oznaczającą nieskończoność. Dla zerowej wartości współczynnika q funkcja skalująca jest obojętna na wpływ wspomnianych wyżej fluktuacji. W przypadku, gdy $q=2$ mamy do czynienia z momentem statystycznym drugiego rzędu. Wykładnik Hursta stopnia q – H_q – zdefiniowany jest jako nachylenie zboczy regresji liniowej dla każdej funkcji skalującej F_q .

Spektrum multifraktalne

Kolejną z reprezentacji wyników działania MFDFA jest tzw. spektrum multifraktalne. W praktyce posługiwanie się wykładnikiem Hursta stopnia q okazuje się niewystarczające. Typową praktyką jest konwersja tego wykładnika na tzw. eksponent masowy stopnia q – t_q , by dalej dokonać kolejnego przekształcenia do tzw. wykładnika osobliwego h_q (*ang. singularity exponent*) oraz wymiar osobliwy stopnia n - D_n (*ang. singularity dimension*). Spektrum multifraktalnym nazywamy wykres zależności h_q od D_q .

Wykładnik masowy i osobliwy stopnia q wyliczyć można z następujących równań:

Kod 5: Obliczenie współczynnika masowego i współczynnika osobliwego.

Kod #5

```
tq = Hq.*q-1  
hq = diff(tq)./(q(2)-q(1));  
Dq = (q(1:end-1).*hq)-tq(1:end-1);
```

W przypadku sygnałów multifraktalnych zależność współczynnika masowego t_q nie jest liniowa, jak dla sygnałów monofraktalnych bądź szumu. Z powyższego równania widać, iż parametr h_q , wykładnik osobliwy, jest nachyleniem stycznej zmiennej t_q .

Spektrum multifraktalne charakteryzuje się szerokością widma, która zdefiniowana jest, jako różnica między maksymalną i minimalną wartością wykładnika osobliwego h_q . Przedstawiona wcześniej metoda DFA definiuje niezależny od czasu wykładnik Hursta, który w przypadku sygnału multifraktalnego pokrywa się z centrum jego spektrum. Szerokość spektrum

multifraktalnego mówi o odchyłce z średniej struktury fraktalnej dla segmentów o dużych i małych fluktuacjach. Kształt spektrum multifraktalnego może być symetryczne, co nie jest jednak reguła dla wszystkich przypadków. Spektrum to może być skrócone na jednym z jego brzegów, co bezpośrednio zależy od zastosowanego zbioru stopni q . Skrócenie lewostronne obecne jest w przypadku, gdy analizowany sygnał o charakterze multifraktalnym będzie niewrażliwy na lokalne fluktuacje z małymi amplitudami. W przypadku skrócenia prawostronnego to samo zjawisko ma miejsce dla fluktuacji z dużymi amplitudami.

Zmiana w czasie wykładnika Hursta obecna w przypadku szeregu multifraktalnego może być przedstawiona w postaci dystrybucji prawdopodobieństwa i spektrum multifraktalnego. Kształt i szerokość spektrum multifraktalnego odzwierciedlają zmiany w czasie wykładnika Hursta. Celem wyznaczenia zmiany wykładnika Hursta należy wyznaczyć wspomnianą wcześniej wartość fluktuacji lokalnej dla danej próbki $RMS\{ns\}(v)$, jednak w tym przypadku analizowany fragment powinien być wycentrowany na środku danej próbki a nie, jak w poprzednim przypadku, dla niezachodzących na siebie segmentów. Należy, więc zmodyfikować kod #4 do postaci zaprezentowanej poniżej (kod 6), gdzie zmiany zaznaczono kolorem **purpurowym**, a kod nieobecny zaznaczono komentarzem (#), przekreśleniem i kolorem **niebieskim**:

Kod 6: Modyfikacja kodu 4 uwzględniająca wyznaczenie wartości fluktuacji lokalnej dla danej próbki $RMS\{ns\}(v)$

```

X = cumsum(signal - mean(signal));
X = transpose(X);
scale = {16,32,64,128,256,512,1024};
scale_small = {7,9,11,13,15,17};
q = [-5,-3,-1,0,1,3,5]
Halfmax = floor(max(scale_small)/2) ;
Time_index = halfmax+1 : length(X)-halfmax;
m = 1;
for ns=1:length(scale_small)
    halfseg = floor(scale_small(ns)/2);
    #segments(ns)= floor(length(X)/scale(ns))
    for v = halfmax+1 : length(X)-halfmax;
        T_index = v-halfseg : v+halfseg;
        #Idx_start=((v-1)*scale(ns))+1;
        #Idx_stop=v*scale(ns);
        #Index{v,ns}= Idx_start:Idx_stop;
        #X_Idx=X(Index{v,ns});
        C = polyfit(T_index, X(T_index),m);
        fit{v,ns} = polyval(C, T_index);
        RMS{ns}(v) = sqrt(mean((X(T_index)-fit).^2));
    end
    #for nq=1:length(q)
    %RMS{nq,ns}=RMS{ns}.^q(nq);
    %Fq(nq,ns)=mean(RMS{nq,ns}).^(1/q(nq));
    end
    Fq(q==0,ns)=exp(0.5*mean(log(RMS{1}.^2)));
end
for nq=1:length(q)
    C = polyfit(log2(scale), log2(Fq(nq,:)),1);
    Hq(nq) = C(1);
    qRegLine{nq} = polyval(C,log2(scale));
C = polyfit(log2(scale),log2(Fq(q==0, :)),1);
Regfit = polyval(C,log2(scale_small));
maxL = length(X);
for ns = 1:length(scale_small);
    RMSt = RMS{ns}(Time_index);
    resRMS{ns}=Regfit(ns)-log2(RMSt);
    logscale(ns)=log2(maxL)-log2(scale_small(ns));
    Ht(ns,:)=resRMS{ns}./logscale(ns)+Hq(q==0);
end

```

W porównaniu z kodem #4 dodano wektor wierszowy scale_small, który zawiera skale numerowane od 7 z inkrementacją liczby dwa. Inkrementacja ta jest konieczna z punktu widzenia wyrównania centrum danego segmentu do wektora Time_index, który obliczany jest dla danej skali i służy do wyliczania lokalnej fluktuacji RMS{ns}. Wektor ten został tak zdefiniowany, by wyłączyć spod analizy ilość próbek odpowiadającą zmiennej halfmax zarówno na początku, jak i na końcu analizowanego szeregu czasowego.

W kolejnym kroku, podobnie do poprzednio przedstawionych kodów, wyliczana jest wartość lokalnej fluktuacji RMS{ns}(v), dla danych segmentów, które w tym zostały wycentrowane dla próbki określonej przez zmienną v=Time_index. Na analizowany fragment składają się próbki, które aktualizowane są poprzez zmienną T_index, a lokalny wykładnik Hursta Ht, można wyznaczyć z lokalnej fluktuacji, RMS{ns}.

Definiowane są linie regresji poprzez zmienną Regfit, dla całkowej wartości fluktuacji stopnia q – qRMS, gdzie reprezentują one centrum rozpiętości lokalnej wartości fluktuacji. Pętla dla każdej skali ns oblicza tzw. rezydualną czy pozostałą wartość fluktuacji (*ang. residua fluctuation*) resRMS{ns} wokół trendu Regfit dla każdej próbki v całego szeregu czasowego. Lokalne wartości wykładnika Hursta Ht(ns,:) obliczane są poprzez nachylenie stycznej dla lokalnej wartości fluktuacji RMS w skali logarytmicznej do końcowego punktu linii regresji Regfit, dla największej wartości skali maxL. W konsekwencji lokalne wartości wykładników Hursta Ht(ns,:) otrzymuje się poprzez podzielenie wartości rezydualnej resRMS{ns} poprzez wartość zmiennej logscale, która odpowiada różnicy maksymalnej skali maxL, a aktualnie rozpatrywaną wartością skali w skali logarytmicznej, oraz dodanie wartości zbocza Hq(q==0) linii regresji.

Małe wartości lokalnych wykładników Hursta Ht(ns,:), dla segmentu sygnału o dużych wartościach amplitud odzwierciedla szumowy charakter lokalnych fluktuacji. W przeciwnym przypadku, gdy wartości lokalnych wykładników Hursta są duże, a amplitudy dla segmentów analizowanego sygnału mają niskie wartości, wtedy sygnał ma charakter błądzenia losowego. Wartość tak zdefiniowanego wykładnika Hursta Ht(ns,:) dla dużych i małych fluktuacji odpowiada wartością wcześniejszą zdefiniowanego wykładnika Hursta Hq odpowiednio, dla ujemnych i dodatnich wartości stopni q. Zaletą wykładnika Ht nad Hq jest jego możliwość identyfikowania chwilowych zmian strukturalnych w analizowanym sygnale, które można zaprezentować na histogramie prezentującym dystrybucję prawdopodobieństwa tego wykładnika.

Spektrum multifraktalne jest zdefiniowane poprzez transformację logarytmiczną znormalizowanej dystrybucji prawdopodobieństwa Ph_norm. Spektrum multifraktalne Dh oraz dystrybucja prawdopodobieństwa Ph są wynikiem wykonania kodu znajdującego się poniżej, który następuje bezpośrednio po kodzie #6:

Kod 7: Wyznaczenie spektrum multifraktalnego oraz dystrybucji prawdopodobieństwa.

Kod #7

```
Ht_row = Ht(:);  
BinNumb = round(sqrt(length(Ht_row)));  
[freq,Htbin]=hist(Ht_row,BinNumb);  
Ph = freq./sum(freq);  
Ph_norm = Ph./max(Ph);  
Dh = 1 - (log(Ph_norm)./-log(mean(scale))));
```

Najpierw dokonywana jest konwersja macierzy Ht do wektora wierszowego Ht_row, który stanowi pierwszą wartość wejściową do funkcji histogramu hist, gdzie drugą zmienną stanowi wartość BinNumb, która ustala liczbę przedziałów w histogramie. Wartość ta zdefiniowana jest, jako pierwiastek kwadratowy rozmiaru wiersza wektora Ht_row. Wartościami wyjściowymi funkcji hist są: środek każdego przedziału (*ang. bin*) Htbin oraz liczba freq lokalnego wykładnika Hursta, która została przydzielona dla poszczególnego przedziału.

Dystrybucja prawdopodobieństwa Ph, obliczana jest poprzez iloraz liczby freq lokalnego wykładnika Hursta dla każdego przedziału przez całkowitą liczbę wykładników Hursta sum(freq).

Spektrum multifraktalne Dh oblicza się najpierw poprzez normalizację dystrybucji prawdopodobieństwa Ph do Ph_norm poprzez iloraz Ph przez maksymalną wartość prawdopodobieństwa max(Ph), a później poprzez odjęcie od jedności stosunku log(Ph_norm)./-log(mean(scale)). Występuje tutaj, więc bezpośrednią zależność pomiędzy spektrum multifraktalnym a dystrybucją prawdopodobieństwa.

Zależności w odniesieniu do standardowego formalizmu analizy multifraktalnej¹⁸.

Tabela 2. Zależności w zapisie między kodem programu Matlab, a formalizmem matematycznym.

| Komentarz | Kod programu Matlab | Matematyczny formalizm |
|---|---|--|
| Profil szeregu czasowego | X | $Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle]$ |
| Szereg czasowy | signal | x |
| Wartość średnia szeregu czasowego | mean(signal) | $\langle x \rangle$ |
| Liczba segmentów dla rozpatrywanej skali | segments(ns) | $N_s \equiv \text{int}(N/s)$ |
| Długość badanego szeregu czasowego | length(signal) | N |
| Rozpatrywana skala ze zbioru wektora wierszowego skal | scale(ns) | s |
| Fluktuacja, odchyłka sygnału od dopasowanego wielomianu | mean((X(Index)-fit).^2) | $F^2(s, v) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s + i] - y_v(i)\}^2$ |
| Wskaźnik dla rozpatrywanego fragmentu szeregu czasowego | Index = (((v-1)*scale(ns))+1 : (v*scale(ns))) | $(v-1)s + i$ dla $i = 1, 2, \dots, s$ |
| Wektor wartości dopasowanego wielomianu dla danej skali i rozpatrywanego segmentu | fit | $y_v(i) = \sum_{k=0}^m c_k i^{m-k}$ |

¹⁸ J. W. Kantelhardt et al. *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series*, 2002

| | | |
|--|------------------------|--|
| Funkcja skalująca, czyli uogólniona (całkowita) wartość średniokwadratowa dla badanych segmentów sygnału dla stopnia q | $F_q(nq, ns)$ | $F_q(s) \\ \equiv \left\{ \frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} F^2(s, v) ^{q/2} \right\}^{1/q}$ |
| Wartość fluktuacji stopnia q przekazywaną przez zmienną nq dla segmentu ns | $qRMS\{nq, ns\}$ | $ F^2(s, v) ^{q/2}$ |
| Średnia wartość fluktuacji stopnia q dla wszystkich segmentów jednej skali | $mean(qRMS\{nq, ns\})$ | $\frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} F^2(s, v) ^{q/2}$ |
| Wykładnik Hursta stopnia q | $H_q(nq)$ | $h(q)$ |
| Wartość dopasowanego wielomianu stopnia n dla obliczonego współczynnika nachylenia dla logarytmu o podstawie z 2 z wektora wierszowego skali | $qRelLine\{nq\}$ | $\log_2(F_q(s)) = \\ = h(q)\log_2(s) + C$ |
| Wykładnik osobliwy | hq | α |
| Wymiar osobliwy ¹⁹ | Dq | $f(\alpha)$ |

cd. Tabeli 2.

¹⁹ Nie należy tego parametru mylić z wymiarem fraktalnym

Bibliografia

1. Mandelbrot BB. The fractal geometry of nature. San Francisco: W.H. Freeman; 1982
2. H. O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe; Chaos and Fractals: New Frontiers of Science; Springer 2004
3. Mandelbrot BB. Self-affine fractals and fractal dimension. Phys Scr 1985;32:257–60
4. Kantelhardt J. W. Fractal and multifractal time series. In: Meyers RA, editor. Mathematics of complexity and dynamical systems. New York, NY: Springer; 2012. p.463–87
5. Gao-Feng and Wei-Xing Zhou, „ Detrended fluctuation analysis for fractals and multifractals in higher dimensions”, Physical Review E (Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics), Vol. 74, No. 6. (2006)
6. Ciuciu P, Abry P, Rabrait Cé, Wendt H. Log wavelet leaders cumulant based mul-tifractal analysis of EVI fMRI time series: evidence of scaling in ongoingand evoked brain activity. IEEE J Select Top Signal Process 2008;2:929–43
7. Mandelbrot, B.B.; Wallis, J.R. (1969). Water Resour. Res. 4: 909
8. Kantelhardt,J.W., Koscielny-Bunde, E.,Rego, H.A.A., Havlin,S., and Bunde, A. (2001).Detectinglong-rangecor-relation with detrended fluctuation analysis. PhysicaA 295, 441–454
9. Kantelhardt J. W., Zschiegner S.A., Koscielny-Bunde E., Havlin S., Bunde A. oraz Stanley H. E.(2002). Multifractal detrended fluctuation analysis of non-stationary time series. PhysicaA 316, 87–114
10. Eke et al.(2002), Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals
11. Collins and De Luca, 1993 - Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories
12. J. Feder, Fractals (Plenum Press, New York, 1988)
13. A.-L. Barab'asi and T. Vicsek, Phys. Rev. A 44, 2730 (1991)
14. H.-O. Peitgen, H. Jürgens, and D. Saupe, Chaos and Fractals (Springer-Verlag, New York, 1992), Appendix B.
15. E. Bacry, J. Delour, and J. F. Muzy, Phys. Rev. E 64, 026103 (2001)

16. J. F.Muzy, E. Bacry, and A. Arneodo, Phys. Rev. Lett. 67, 3515 (1991); J. F. Muzy, E. Bacry, and A. Arneodo, Int. J. Bifurcat. Chaos 4, 245 (1994); A. Arneodo, E. Bacry, P. V. Graves, and J. F.Muzy, Phys. Rev. Lett. 74, 3293 (1995); A. Arneodo et al. in: The science of disaster: climate disruptions, market crashes, and heart attacks, ed. by A. Bunde and H. J. Schellnhuber (Springer-Verlag, Berlin, 2002)
17. B.B Mandelbrot, J.W. van Ness, *Fractional Brownian motions, fractional noises and applications*, SIAM Review 10, 422 (1968)
18. A. Bashan, R. Bartsch, J.W. Kantelhardt, S. Havlin, *Comparison of detrending methods for fluctuation analysis*, Physica A 2008
19. Espen A. F. Ihlen, *Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab*, frontiers in physiology, 4 czerwca 2012
20. Multifractal toolbox: <http://www.ntnu.edu/inm/geri/software> (dostęp z dnia 02.02.2015)
21. DFA: MATLAB function to compute the Hurst exponent using Detrended Fluctuation Analysis (DFA): <http://ideas.repec.org/c/wuu/hscode/m11002.html> (dostęp z dnia 02.02.2015)

Część empiryczna

Scenariusze badania

Metodyka charakterystyki scenariuszy

Poniżej zamieszczono wstępnią analizę scenariuszy, które zostały wykorzystane do badania w niniejszej pracy. Wstępna analiza scenariuszy opiera się na scharakteryzowaniu rozpatrywanego przypadku uwzględniając:

1. Dane techniczne materiału – tj. rozdzielczość, liczba klatek na sekundę analizowanego materiału filmowego, która ma bezpośredni wpływ na liczbę otrzymanych próbek. Wynika to z faktu, iż analizowano co trzecią próbkę materiału filmowego, gdzie następnie okazało się, iż z powodu zmiany systemu nagrywającego otrzymane materiały filmowe charakteryzują się różną liczbą klatek na sekundę: 15 bądź 30. Daje to w efekcie odpowiednio częstotliwości próbkiowania 5Hz oraz 10Hz. Jest to istotnym punktem, gdyż każde zdarzenie w scenariuszu wyrażane jest w sekundach, które należy przeliczyć na odpowiadające im przedziały próbek. Dokonano tego w osobnej tabeli dla każdego scenariusza.
2. Opis scenariusza – tj. opis sytuacji, w której znajduje się pacjent (fantom), z uwzględnieniem dolegliwości. Dodatkowo często scenariusz zakłada dalszą ewolucję stanu pacjenta, pomimo podejmowanych działań, czy dodatkowe schorzenia bądź uczulenia pacjenta.
3. Osoby w scenariuszu – wykaz osób uczestniczących w ćwiczeniach w Zakładzie Dydaktyki Medycyny, która dla opisywanych scenariuszy imituje salę Szpitalnego Oddziału Ratunkowego (SORu). Wykaz osób zawiera funkcje osób, tj. młodszy lekarz, starszy lekarz, lekarz dyżurny, lekarz kierownik SORu, pielęgniarka/pielęgniarz, członkowie rodziny. Dodatkowym parametrem jest podanie czasu pojawienia się osoby na sali SORu w sekundach oraz po przeliczeniu na liczbę próbek, jakie upłynęły od początku scenariusza.
Jest to istotny parametr, gdyż umiejscowienie zdarzeń, które miały miejsce w scenariuszu opisywane jest przy pomocy czasu bezwzględnego, tj. mierzonego od początku danego scenariusza
4. Tabela zdarzeń. Tabela zawiera opis zdarzeń zachodzących w scenariuszu. Każdy opis dotyczy jednej bądź wielu osób biorących udział w scenariuszu, bądź stanu pacjenta, jego

dalszej ewolucji i reakcji zespołu, a także rodziny pacjenta - dodatkowych osób w scenariuszu, których zadaniem jest utrudnienie pracy zespołowi podejmującemu akcję ratowniczą. Tabela zdarzeń wskazuje wystąpienie danego zdarzenia w czasie, który wyrażany jest poprzez podanie sekund, jakie upłynęły od początku i, po przeliczeniu, odpowiednią liczbę próbek. Podanie liczby próbek ma na celu ułatwienie analizy wykresu zmienności lokalnej wartości wykładnika Hursta dla każdej z analizowanych osób.

Charakterystyka scenariuszy

Schemat badania opiera się na konstrukcji scenariuszy ćwiczeń fakultatywnych, w których występuje wiele czynników rozpraszających, bądź częściowo uniemożliwiających badanym szybkie i sprawne wykonanie powierzonych, zamierzonych i prawidłowych czynności, bezpośrednio bądź pośrednio przekładających się na dalszy stan zdrowia pacjenta-fantomu, oraz takich scenariuszy, w których liczba tych czynników jest znacznie ograniczona, celem porównania wpływu ww. czynników. Zaproponowane scenariusze mają za zadanie modelować stopień utrudnienia wykonywania czynności resuscytacyjnych – od okoliczności łatwych dla wykonujących, gdzie liczba czynników rozpraszających jest niska, po sytuacje bardziej skomplikowane z szerokim wachlarzem czynników rozpraszających.

Scenariusze podzielone zostały na dwie grupy A oraz B. Każdemu ze scenariuszy przyporządkowano numer od 1 do 6. Poniżej zamieszczono opis każdego ze scenariuszy, zawierający informacje o jego charakterze, tj. ilości osób oraz ich funkcji, sytuacja pacjenta i jej ewolucja w czasie, obecność rodziny itp.

Dla każdego z analizowanych scenariuszy zbierano co trzecią próbkię położenia badanego ratownika, co przy zebranych materiałach filmowych, które charakteryzowały się liczbą klatek na sekundę równą 30 bądź 15 dawało różne częstotliwości próbkowania – odpowiednio 10Hz oraz 15Hz. Oznacza to, iż próbki były efektywnie zbierane odpowiednio co 100ms oraz 200ms. Zmiana charakterystyki filmów, ich parametrów jakościowych wynika ze zmiany systemu nagrywającego w Zakładzie Dydaktyki Medycyny w Krakowie, która nastąpiła w międzyczasie prowadzenia badań, które rozciągały się od marca 2014 do listopada 2014 roku.

Z wyżej wymienionych względów podzielono scenariusze na dwie podgrupy A, w której liczba klatek na sekundę wynosiła 15, oraz B, wykonane po zmianie systemu nagrywającego, gdzie liczba klatek na sekundę otrzymanych materiałów filmowych wynosiła 30.

Dla każdego scenariusza przygotowano podpunkt zdarzenia, który informuje o czasie wystąpienia pewnych czynników charakterystycznych dla danego scenariusza, które miały wpływ na zachowanie się osób wykonujących powierzone obowiązki związane z analizą stanu pacjenta i jego leczenia na symulowanym Szpitalnym Oddziale Ratunkowym (SOR). Przy analizie tych zdarzeń należy uwzględnić czas pojawienia się danej osoby na sali, w której odbywa się scenariusz, gdyż w większości przypadków dodatkowe osoby uczestniczące są wzywane do pomocy dopiero po pewnym czasie, gdy zostają wezwane do pomocy przez osoby mające pierwszy kontakt z pacjentem.

Jako iż liczba próbek jest także miarą czasu, po uwzględnieniu częstotliwości próbkowania (10Hz), oraz czasu pojawienia się osoby na sali, w której wykonywane są ćwiczenia, można w ten sposób zidentyfikować wspólne przedziały czasowe, w których dane zdarzenie miało miejsce.

Scenariusz A1: Zatorowość płucna

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **15,0**
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregów czasowych: **5Hz**
- Rozdzielcość: 640x480

Opis scenariusza:

Pacjentka lat 82 została przywieziona przez rodzinę do szpitala (Os.5 oraz Os.6) po tym, jak wyszła z toalety i poczuła się źle: występuje ból w klatce piersiowej, trudności z oddychaniem od ponad godziny, uciążliwy kaszel. Pacjentka leczy się na chorobę niedokrwienną serca, nie przechodziła w życiu zawału.

Zadaniem studentów wykonujących ten scenariusz fakultatywny jest stwierdzenie objawów niewydolności prawokomorowej oraz zatoru tętnicy płucnej oraz telefon do Oddziału Intensywnej Terapii, którzy przejmą pacjenta..

Osoby występujące scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]

- Czas pojawienia się: *5,2 sekundy [26 próbek]*,

- Starszy lekarz - kierownik Szpitalnego Oddziału Ratunkowego, osoba początkowo koordynująca działania grupy, osoba odpowiedzialna za podejmowane decyzje.

Osoba 2 [Os.2]

- Czas pojawienia się: od początku (zdarzenie 1)
- Pielęgniarka dyżurna, wykonująca polecenia lekarzy
- Jest pierwszą osobą mającą kontakt z pacjentką oraz rodziną, która przywozi pacjentkę na oddział

Osoba 3 [Os.3]

- Czas pojawienia się: 2minuty 24sekundy (zdarzenie 3)
- Młodszy lekarz dyżurny, który przejmuje odpowiedzialność i kierownictwo nad rozpoznaniem i podejmowaniem działań

Osoba 4 [Os.4]

- Czas pojawienia się: 2minuty 24sekundy (zdarzenie 3)
- Os.4 to pielęgniarka

Osoba 5 [Os.5]

- Czas pojawienia się: od początku (zdarzenie 1)
- Członek rodziny pacjentki

Osoba 6 [Os.6]

- Czas pojawienia się: od początku (zdarzenie 1)
- Członek rodziny pacjentki

Tabela 3: zdarzenia scenariusza A1 - zatorowość płucna

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|----------|--|---|
| 1 | 0 | 0 | Rodzina pacjentki domaga się podjęcia akcji ratunkowej. Os.2 wzywa na miejsce zdarzenia Os.1. Os.1 po czasie 5,2 sekundy pojawia się na miejscu zdarzenia (26 próbek) i rozpoczyna ogląd sytuacji, poleca rodzinie odsunięcie się od pacjentki. |
| 2 | 109 | 545 | Rodzina przeszkaadza w akcji ratowniczej |
| 3 | 144 | 720 | Przybycie dodatkowych osób: lekarza dyżurnego oraz pielęgniarki (Os.3 oraz Os.4), którzy po zapoznaniu się z sytuacją pacjentki rozpoczynają akcję ratowniczą |
| 4 | 196 | 980 | Rodzina ponownie przeszkaadza w akcji ratowniczej. Os.1 odciąga rodzinę od pacjentki, następnie odciąga rodzinę od pacjentki. Os.4 przystępuje do zakładania pacjentce dożylnego wkłucia w dole łokciowym prawym. |
| 5 | 304 | 1520 | Os.2. przejmuje kontakt z rodziną, pod koniec zdarzenia zbiera wywiad nt. pacjenta. Os. 1. Wraca do akcji ratowniczej. |
| 6 | 355 | 1775 | Rodzina (Os.5, Os. 6) krzyczy w stronę wykonujących lekarzy, wyrażając swoje niezadowolenie, krytykując jednocześnie postawę ratujących. Os.2 próbuje uspokoić rodzinę i przeprowadzić dalszy wywiad. |
| 7 | 468 | 2340 | Os.1 stwierdza po przeprowadzeniu badania EKG jego poprawność. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| 8 | 535 | 2675 | Os.3 wykonuje telefon do laboratorium, celem zapytania o dostępność wyników, które nie są jeszcze gotowe. |
| 9 | 600 | 3000 | Pacjentka zaczyna majaczeć, zamknęła oczy i nie odpowiada na kontakt z ratownikami. Zespół postanawia założyć pacjentce maskę krtaniową. Os._ zakłada maskę i rozpoczyna ręczną wentylację płuc. |
| 10 | 650 | 3250 | Os.3. odbiera telefon z laboratorium, które stwierdza w wyniku badania krwi normę, poza mocno podwyższonymi D-dimerami (Podwyższone D-dimery to oznaka zwiększonej aktywacji procesów krzepnięcia i fibrynowania – co stanowi w danym scenariuszu ugruntowanie podejrzenia o zakrzepicy tętnicy płucnej) |
| 11 | 700 | 3500 | Os.3. wykonuje telefon do pracowni Diagnostyki Obrazowej celem wykonania badania Tomografii Komputerowej w kierunku podejrzenia zatorowości płucnej. Od tego momentu grupa czeka oraz zastanawia się nad dalszymi krokami. Kolejno Os.2. przeprowadza dodatkowy wywiad z rodziną |
| 12 | 760 | 3800 | Lekarz (Os.1) deleguje pielęgniarkę (Os.2) do dalszego zbierania wywiadu od rodziny, celem otrzymania informacji, czy pacjentka przechodziła w niedalekiej przeszłości jakieś zabiegi bądź operacje. |
| 13 | 805 | 4025 | Stwierdziwszy brak środków fibrynolitycznych Os.3. telefonuje do oddziału kardiologii, który decyduje się przyjąć pacjentkę, jest to jednocześnie koniec scenariusza. |

Scenariusz A2: Zawał ściany przedniej serca

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **15**
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregow czasowych: **5Hz**
- Rozdzielcość: 640x480

Opis scenariusza:

Pielęgniarka na oddziale ratunkowym spotyka pacjenta (lat 57), który skarży się na bardzo silny ból w klatce piersiowej, jest blady i spocony. Scenariusz zaczyna się w momencie, gdy pielęgniarka kładzie pacjenta na łóżku. Pacjent ma zawał serca, który należy zdiagnozować m.in. poprzez wykorzystanie dwunastoodprowadzeniowego badania EKG.

Osoby w scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 0s (zdarzenie 1)
- Pielęgniarka, która spotyka pacjenta, kładzie go na łóżku i wzywa lekarza (Os.2)

Osoba 2 [Os.2]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 66s (zdarzenie 2)
- Starszy lekarz dyżurny, który zostaje wezwany przez pielęgniarkę (Os.1) na miejsce zdarzenia

Osoba 3 [Os.3]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 166s (zdarzenie 4)
- Pielęgniarka, która została wezwana na miejsce zdarzenia do pomocy przez Os.1

Osoba 4 [Os.4]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 166s (zdarzenie 4)
- Młodsza lekarz dyżurna, która została wezwana na miejsce zdarzenia do pomocy przez Os.1

Osoba 5 [Os.5]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia : 264s (zdarzenie 8)
- Członek rodziny pacjenta

Osoba 6 [Os.6]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia : 264s (zdarzenie 8)
- Członek rodziny pacjenta

Tabela 4: zdarzenia scenariusza A2- zawał ściany przedniej serca

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|-------------|---|--|
| 1 | 0 | 0 | Pielęgniarka (Os.1) rozmawia z pacjentem, pyta się o miejsce w, którym odczuwa ból. Pacjent jest blady i spocony, ma sine usta, mocno oddycha z pomocą dodatkowych mięśni oddechowych. |
| 2 | 66 | 330 | Pielęgniarka (Os.1) wzywa na miejsce zdarzenia lekarza (Os.2), który zaznajamia się z sytuacją, przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem: gdzie go boli, na jakie leki jest uczulony |
| 3 | 149 | 745 | Lekarz (Os.2) podaje polecenie pielęgniарce (Os.1), by ta wezwała dodatkowe osoby do pomocy |
| 4 | 166 | 830 | Os.3 oraz Os.4 przybywają na miejsce zdarzenia i zaznajamiają się z sytuacją. |
| 5 | 188 | 940 | Os.2 poleca Os.3 założenie wkładu pacjentowi, a Os.4 podanie pacjentowi aspiryny. Widząc Os.1, która nie wykonuje w tym czasie żadnej czynności, poleca jej zmierzenie ciśnienia. |
| 6 | 202 | 1010 | Os.2 zakłada pacjentowi maskę tlenową |

| | | | |
|-----------|-----|------|--|
| 7 | 240 | 1200 | Os.2 przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem: leczy się na nadciśnienie, a dalej przypomina Os.4 o podaniu pacjentowi aspiryny. |
| 8 | 264 | 1320 | Przy pacjencie pojawiają się osoby z rodziny Os.5 oraz Os.6, |
| 9 | 281 | 1405 | Os.2 poleca Os.3 podanie pacjentowi morfiny. |
| 10 | 291 | 1455 | Os.5, a następnie Os.6 z rodziny ponownie przeszkadzają zespołowi w wykonywaniu ćwiczenia. Zwracają się do lekarza zarządzającego Os.2 o udzielenie informacji. |
| 11 | 300 | 1500 | Os.4 ponownie odciąga rodzinę i tłumaczy, iż nie mogą w tej chwili udzielić informacji, gdyż pacjent jest analizowany oraz, iż zostaną oni poinformowani w momencie, gdy zespół stwierdzi co dolega pacjentowi. |
| 12 | 321 | 1605 | Os.2 zleca Os.4 pobranie krwi do badań morfologicznych Os.5 i Os.6 (rodzina) podchodzi do pacjenta i zespołu lekarzy, zostaje dopiero po chwili odciągnięta przez Os.1 na pobocze, by nie przeszkadzać zespołowi lekarzy, przeprowadza wywiad z rodziną na temat pacjenta: historia chorób, problemy z sercem itp. |
| 13 | 348 | 1740 | Os.2 poleca wykonanie badania EKG Os.3, która wykonuje telefon w tym celu. |
| 14 | 408 | 2040 | Technik EKG wykonał badanie, które jest dostępne do wglądu dla zespołu. Os.2 oraz Os.4 dokonują analizy zapisu EKG. Os.3 zostaje sama z pacjentem. |
| 15 | 423 | 2115 | Os.2 diagnozuje zawał serca, pyta pacjenta czy kiedykolwiek przechodził zawał serca, gdzie odpowiedź jest negatywna. |
| 16 | 441 | 2205 | Os.2 poleca Os.4 wykonanie telefonu na Oddział Kardiologiczny, celem wykonania koronarografii, po chwili okazuje się, iż Os.4 nie zna dobrze wyniku badania |

| | | | |
|-----------|------------|-------------|--|
| | | | EKG, więc prosi Os.2 do dalszego kontaktu z Oddziałem Kardiologii. Os.1 kończy przeprowadzanie wywiadu z pacjentem |
| 17 | 479 | 2395 | Os.5 (rodzina) słysząc diagnozę lekarza (Os.2), iż jest to zawał ściany przedniej biegnie w kierunku pacjenta i lekarza. Zostaje odciągnięta przez Os.3, która uspokaja i powtarza, by nie przeszkadzać w pracy zespołowi. |
| 18 | 494 | 2470 | Oddział Kardiologiczny poleca telefonicznie Os.2 sprawdzenie tętna na tętnicach udowych, oraz pyta, czy pacjent jest świadom i wyraża zgodę na badanie koronarograficzne, po czym się rozłącza. |
| 19 | 529 | 2645 | Os.2 pyta pacjenta o zgodę na koronarografię oraz tłumaczy charakterystykę zabiegu. Os.3 osłuchuje klatkę piersiową pacjenta, po chwili decyduje się zmierzyć pacjentowi ciśnienie tętnicze krwi, w tym celu szuka niezbędnego sprzętu. |
| 20 | 580 | 2900 | Pacjent wyraża zgodę na koronarografię. Os.2 poleca Os.1 zebranie podpisu od pacjenta. Os.4 osłuchuje klatkę piersiową pacjenta. |
| 21 | 590 | 2950 | Os.2 ponownie telefonuje do Oddziału Kardiologicznego. Oddział żąda podania wykazu leków, jakie pacjent dostał do tej pory |
| 22 | 603 | 3015 | Os.5 i Os.6 (rodzina) podbiega do pacjenta, oraz pyta Os.1 o stan i dalsze leczenie bliskiego. Os.1 początkowo rozmawia z rodziną przy pacjencie, nie odciągając ich od zespołu lekarzy |
| 23 | 631 | 3155 | Os.1 odciąga rodzinę od pacjenta |
| 24 | 638 | 3190 | Os.2 informuje zespół o poinformowaniu Oddziału Kardiologicznego, iż pacjenta należy przetransportować do oddziału. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| 25 | 680 | 3400 | Dalsza analiza pacjenta: wypuk płuc (stłumiony po obu stronach), obrzęki na kończynach dolnych, żyły szyjne wyraźnie wypełnione, wątroba schowana pod łukiem żebrowym. |
| 26 | 722 | 3610 | Przyjazd zespołu z Oddziału Kardiologicznego, który zabiera pacjenta. Jest to jednocześnie koniec scenariusza |

Scenariusz A3: Odma płuca prawego

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **15**
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregów czasowych: **5Hz**
- Rozdzielcość: 640x480

Opis scenariusza:

Pacjent, który od godziny ma trudności z oddychaniem przychodzi sam na salę Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Skarży się na narastające problemy z oddechem. Scenariusz zaczyna się w momencie, gdy lekarz (Os.2) oraz pielęgniarka (Os.1) kładą pacjenta na łóżku. Pacjent ma odmę prawego płuca, zadaniem zespołu jest odpowiednia diagnoza przypadku, odpowiednie postępowanie celem zachowania życia pacjenta.

Osoby w scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]:

- Os.1 to pielęgniarka na Sali SORu, która spotyka pacjenta i kładzie go na łóżko
- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 0s (zdarzenie 1)

Osoba 2 [Os.2]:

- Os.2 to młodsza lekarz dyżurna na Sali SORu, która spotyka pacjenta i kładzie go na łóżko
- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 0s (zdarzenie 1)

Osoba 3 [Os.3]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 70s (5 zdarzenie)
- Starszy lekarz, kierownik SORu, który kieruje zespołem od początku scenariusza do czasu 24 minuty 11 sekundy (52 zdarzenie z tabeli zdarzeń) scenariusza

Osoba 4 [Os.4]:

- Pielęgniarka, która została wezwana na miejsce zdarzenia przez Os.1, kieruje zespołem dla końcowego etapu scenariusza - od czasu 24 minuty 11 sekundy (52 zdarzenie z tabeli zdarzeń)
- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 70s (5 zdarzenie)

Tabela 5: zdarzenia scenariusza A3 - odma płuca prawnego

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|-------------|--|--|
| 1 | 0 | 0 | Os.2 poleca Os.1 podłączyć pacjenta do sprzętu EKG, a następnie założyć wkłucie dożylnie i podać płynny oraz założyć maskę tlenową. |
| 2 | 6 | 30 | Os.2 przeprowadza wywiad z pacjentem: pacjent ma nasiąkające się od godziny duszności, jest chory na astmę. |
| 3 | 46 | 230 | Os.2 zauważając silną pracę dodatkowych mięśni oddechowych, oraz narastającą sinicę pacjenta postanawia założyć pacjentowi maskę tlenową |
| 4 | 58 | 290 | Os.1 wzywa na pomoc dodatkowych członków zespołu ratowniczego. |
| 5 | 70 | 350 | Os.3 oraz Os.4 przybywają na miejsce zdarzenia. Os.2 opisuje stan pacjenta zespołowi lekarzy. Os.1 podłącza pacjenta do przyłożkowego EKG. |
| 6 | 96 | 480 | Os.2 pyta, czy pacjent jest uczulony na pewne leki: pacjent ma alergię na pyralginę. |

| | | | |
|----|-----|-------|--|
| 7 | 110 | 550 | Os.1 włącza podajnik tlenu do założonej maski tlenowej pacjenta na polecenie Os.2. |
| 8 | 128 | 640 | Os.2 przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem |
| 9 | 135 | 675 | Os.3 osłuchuje klatkę piersiowej pacjenta. Os.1 pyta Os.3 czy pobrać krew do badania morfologicznego – Os.3 potwierdza. |
| 10 | 163 | 815 | Os.2 przeprowadza wywiad z pacjentem na polecenie Os.3, czy ten przyjmuje jakieś leki. Pacjent oznajmia, iż przyjmuje, jest nim butamol – lek stosowany wziewnie w przypadku astmy. Os.4 przygotowuje sprzęt do wykonania wkładania dożylnego pacjentowi. |
| 11 | 180 | 900 | Os.2 poleca Os.1 wykonać pomiar ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. |
| 12 | 236 | 1 180 | Os.4 dokonuje wkładania dożylnego do żyły odłokciowej prawej pacjenta. Os.2 oraz Os.3 przeglądają wykaz leków, celem odnalezienia butamolu. Następnie konsultują między sobą dalsze postępowanie z pacjentem. Os.1 nie wykonuje dalej konkretnych czynności ratowniczych, porządkuje sprzęt na sali. |
| 13 | 308 | 1 540 | Os.2 oraz Os.1 pionizują postawę pacjenta na łóżku sali SORu. |
| 14 | 323 | 1 615 | Os.2 konsultuje z Os.1 wskazania do badania laboratoryjnego krwi: morfologia, elektrolity, gazometria |
| 15 | 386 | 1 930 | Os.3 próbuje zaaplikować pacjentowi lek, który powinien przyjmować samodzielnie „butamol”. Pacjent mówi, iż nie jest w stanie wziąć głębokiego oddechu, gdyż jest zbyt słaby. |

| | | | |
|-----------|------------|--------------|--|
| | | | Następnie Os.3 konsultuje z Os.2 dalsze postępowanie z pacjentem. |
| 16 | 419 | 2095 | Os.2 poleca Os.4 zmierzyć ciśnienie tętnicze krwi pacjenta. Os.1 zakłada pacjentowi maskę tlenową, pomaga Os.2. |
| 17 | 425 | 2 125 | Stan pacjenta się pogarsza – oddycha coraz ciężej, jego dodatkowe mięśnie oddechowe pracują w sposób zintensyfikowany. Os.1 sugeruje wykonanie badania EKG. Zespół konsultuje dalsze postępowanie. |
| 18 | 482 | 2 410 | Os.2 telefonuje do Zakładu Diagnostyki Obrazowej celem zmówienia przyłożkowego badania RTG klatki piersiowej. Os.1 zwiększa podaż tlenu przez maskę tlenową |
| 19 | 510 | 2 550 | Os.4 stwierdza ciśnienie pacjenta 130/100 |
| 20 | 518 | 2 590 | Os.2 osłuchuje klatkę piersiową pacjenta |
| 21 | 523 | 2 615 | Os.3 sprawdza wypełnienie żył szyjnych pacjenta – duże, pracujące w rytmie oddychania. |
| 22 | 540 | 2 700 | Os.2 sprawdza brzuch – brak reakcji bólowej pacjenta na ucisk, oraz kończyny dolne – brak obrzęków. |
| 23 | 580 | 2 900 | Os.3 sprawdza wypuk płuc pacjenta – symetryczny, nadmiernie jawnny (jeden z objawów charakterystycznych rozedrmu płuc). |
| 24 | 610 | 3 050 | Na salę SORu przybywa technik elektroradiologii, który wykonuje przyłożkowe zdjęcie RTG klatki piersiowej pacjenta. Przed wykonaniem zdjęcia zespół musi odsunąć się od pacjenta, celem zmniejszenia dawki dla osób postronnych. |
| 25 | 645 | 3 225 | Os.2 i Os.3 analizuje wykonany obraz RTG klatki piersiowej pacjenta. Os.4 odkłada lek – butamol, który pacjent przyjmuje. |
| 26 | 660 | 3 300 | Os.1 mierzy pacjentowi ciśnienie tętnicze krwi. |
| 27 | 700 | 3500 | Os.1 podłącza pacjenta do kroplówki. |

| | | | |
|----|-----|-------|---|
| | | | Os.2, Os.3 oraz Os.4 konsultują otrzymane wyniki i dalsze postępowanie z pacjentem. |
| 28 | 720 | 3 600 | Pacjent przestaje otwierać oczy, jest nieprzytomny. Os.2 poleca przygotować 100mg Hydrokortyzonu Os.1, a następnie podać dożylnie w bolusie. |
| 29 | 730 | 3 650 | Os.3 poleca przygotować Os.4 kolejny zestaw leków podawanych dożylnie. |
| 30 | 760 | 3 800 | Os.2 stwierdza, iż pacjent nie oddycha samodzielnie. Os.3 przygotowuje maskę tlenową (tzw. „ambu” – do ręcznej wentylacji płuc pacjenta), którą następnie Os.2 wraz z Os.1 zakładają na twarz pacjenta. Maska ta nie ma połączenia z krtanią pacjenta. Os.3 poleca Os.4 przygotowanie dawki leku |
| 31 | 780 | 3 900 | Os.2 rozpoczyna ręczną wentylację płuc pacjenta. |
| 32 | 800 | 4000 | Os.3 stwierdza brak tępna pacjenta . Os.1 rozpoczyna uciskanie klatki piersiowej (masaż serca) pacjenta. |
| 33 | 815 | 4 075 | Os.2 poleca Os.4 przygotowanie adrenaliny, która jednak w dalszym toku akcji przerywa przygotowania (patrz następne zdarzenia) |
| 34 | 865 | 4 325 | Os.2 przygotowuje wkładkę krtaniową do wcześniej założonej maski tlenowej. Os.3 zaczyna prowadzić ewidencję czasową, niezbędną w procesie masażu serca oraz sztucznej wentylacji płuc pacjenta. |
| 35 | 880 | 4 400 | Os.4 odbiera połączenie z laboratorium z wynikami badań krwi pacjenta. Wszystkie badania, za wyjątkiem gazometrii są prawidłowe: podwyższone stężenie parcjalne dwutlenku węgla, pH krwi poniżej normy dla krwi żyłnej, obniżone stężenie wodorowęglanów oraz niedobór zasad. |

| | | | |
|----|------|-------|---|
| | | | Są to objawy <u>kwasicy oddechowej</u> , która rozwija się w następstwie upośledzonego wydalania dwutlenku węgla przez płuca. Jest istotnym elementem do rozpoznania stanu pacjenta. |
| 36 | 957 | 4 785 | Os.3 stwierdza kwasice oddechową pacjenta i decyduje o chwilowym przerwaniu masarzu serca dla oceny, czy serce pacjenta nie ponowiło akcji, a także czy pacjent nie zaczął samodzielne oddychać. |
| 37 | 979 | 4 895 | Zespół kontynuuje masaż serca pacjenta. Nastąpiła zmiana w wykonywanych czynnościach: Os.1 wentyluje płuca pacjenta, Os.2 uciska klatkę piersiową (masaż serca). |
| 38 | 986 | 4 930 | Os.3 przygotowuje adrenalinę |
| 39 | 1020 | 5 100 | Os.4 sprawdza podręcznik postępowania w przypadku kwasicy oddechowej |
| 40 | 1031 | 5 155 | Os.3 podaje pacjentowi adrenalinę. |
| 41 | 1104 | 5 520 | Os.3, która odmierza czas, ogłasza ponowną ocenę stanu pacjenta. |
| 42 | 1116 | 5 580 | Os.1 badając tętno pacjenta na szyi, poczuła trzeszczenie pod palcami. Os.2 stwierdza, iż pacjent jest troszkę opuchnięty. Os.3 stwierdza, iż jest to prawdopodobnie odma, sugeruje dalsze osłuchanie płuc podczas wentylacji pacjenta. |
| 43 | 1130 | 5 650 | Os.2 osłuchuje płuca pacjenta. Szmery nad płucami są niesymetryczne, po prawej stronie jest wyraźnie cichszy. W czasie wypuku, po prawej stronie wypuk jest bębenkowy. |

| | | | |
|----|------|-------|---|
| 44 | 1164 | 5 820 | Pacjent nie ma tętna, nie oddycha samodzielnie. Zespół ponawia Resuscytację Krążeniowo-Oddechową (RKO). Os.4 wykonuje teraz masaż serca. Os.1 kontynuuje wentylację płuc pacjenta. Os.3 poleca Os.2 przygotowanie dawki adrenaliny. |
| 45 | 1200 | 6 000 | Os.2 podaje pacjentowi adrenalinę w odpowiedniej dawce |
| 46 | 1260 | 6 300 | Os.4 wstrzymuje masaż serca pacjenta Os.3 przystępuje do odbarczenia odmy pacjenta, wykonuje w tym celu zabieg torakocentezy – nakłucie jamy opłucnowej celem odbarczenie płuca uciśniętego przez płyn lub powietrze. |
| 47 | 1313 | 6 565 | Os.4 wznowia masaż serca pacjenta |
| 48 | 1331 | 6 655 | Zespół ponownie dokonuje oceny oddechowo-krążeniowej pacjenta. Pacjent nadal nie ma tętna. Następuje zmiana Os.2 wznowia masaż serca pacjenta. |
| 49 | 1359 | 6 795 | Os.4 dokonuje defibrylacji pacjenta. |
| 50 | 1364 | 6 820 | Os.2 wznowia masaż serca pacjenta. |
| 51 | 1387 | 6 935 | Os.3 telefonuje do Zakładu Diagnostyki Obrazowej celem wykonania przez technika zdjęcia RTG klatki piersiowej |
| 52 | 1451 | 7 255 | Os.3 powierza kierowanie akcją ratowniczą Os.4, gdzie Os.3 zajmuje się dalej liczeniem czasu dla RKO. |
| 53 | 1460 | 7 300 | Technik elektroradiologii pojawia się na Sali SORu, wykonuje zdjęcie klatki piersiowej pacjenta. Następnie wykonywana jest ocena tętna pacjenta: pacjent nie oddycha samodzielnie, jednak Os.4 wykryła puls pacjenta. Os.2 przystępuje do wentylacji pacjenta. |
| 54 | 1530 | 7 650 | Os.4 wyczuwa puls pacjenta, pacjent jednakże nie oddycha jeszcze samodzielnie – konieczna jest wentylacja. Os.2 wykonuje wentylację płuc pacjenta. |

| | | | |
|----|------|-------|---|
| 55 | 1566 | 7 830 | Technik elektroradiologii dostarcza obraz RTG płuc pacjenta. Os.2 oraz Os.3 zmierza ocenić wynik zdjęcia RTG. Os.1 przejmuje wentylację płuc pacjenta. Os.4 dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. |
| 56 | 1600 | 8 000 | Os.2 telefonuje do Oddziału Chirurgicznego, celem uzyskania pomocy w założeniu drenu do klatki piersiowej. Chirurg dyżurny oznajmia, iż wyśle odpowiednią osobę na SOR. Os.4 zmierzyła ciśnienie tętnicze krwi pacjenta 130/105. |
| 57 | 1640 | 8200 | Os.2 konsultuje dalsze postępowanie z Os.3. Decydują się na ponowne wykonanie badania krwi: gazometria, morfologia, elektrolity. Scenariusz dobiega końca, zrealizowano jego założenia: wywiad w kierunku uczuleń, RKO, badania krwi, osłuchanie i opuk klatki piersiowej, analiza porównawcza zdjęć rentgenowskich przed i po odbarczeniu płuc, kontakt z oddziałem chirurgii w celu założenia drenu. |

Scenariusz B1: Ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **30,0**
należy zwrócić uwagę na efektywne pobieranie próbki co 100ms (0,1s).
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregów czasowych: **10Hz**
- Rozdzielcość: 640x480

Opis scenariusza:

Pacjent 62 letni zgłasza się do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego z powodu silnego, trwającego od dwóch godzin bólu w klatce piersiowej. Scenariusz rozpoczyna się w chwili

umieszczenia pacjenta w łóżku na Sali obserwacyjnej przez lekarza i pielęgniarkę, które jako pierwsze mają styczność z pacjentem.

Według zaplanowanego scenariusza stan pacjenta ulega stopniowo nieznaczнемu pogorszeniu, niezależnie od stosowanej terapii. Pacjent jest przez cały czas przytomny, jego tętno przyspiesza do 110/min i utrzymuje się do chwili podania co najmniej 7mg morfiny, wtedy zwalnia do 70/min.

W scenariuszu nie występuje element zakłócający w postaci członków rodziny, którzy domagają się kontaktu z pacjentem oraz informacji na jego temat.

Osoby w scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]:

- Czas pojawienia się na sali: 0s (zdarzenie 1)
- Starsza lekarz dyżurna mająca pierwszy kontakt z pacjentem, będąca kierownikiem SORu, do której należy koordynacja pracy zespołu

Osoba 2 [Os.2]:

- Czas pojawienia się na sali: 0s (zdarzenie 1)
- Pielęgniarka mająca pierwszy kontakt z pacjentem

Osoba 3 [Os.3]:

- Czas pojawienia się na sali: 25s (250 próbka),
- Pielęgniarka wezwana przez Osobę 1.

Osoba 4 [Os.4]:

- Czas pojawienia się na sali: 38s (380 próbka),
- Młodsza lekarz dyżurna wezwana przez Osobę 1.

Tabela 6: zdarzenia scenariusza B1 - ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|----------|--|---|
| 1 | 10 | 100 | Os.2 wzywa do pomocy lekarzy dyżurujących (Os.3 oraz Os.4). Os.1 rozmawia z pacjentem nt. lokalizacji bólu. |
| 2 | 25 | 250 | Przybycie na miejsce zdarzenia Os.3 |
| 3 | 38 | 380 | Przybycie na miejsce zdarzenia Os.4 |
| 4 | 40 | 400 | Os.1 wyjaśnia Os.3 oraz Os.4 dotychczasową sytuację |
| 5 | 44 | 440 | Os.1 poleca Os.3 podłączenie pacjenta do EKG |
| 6 | 46 | 460 | Os.1 poleca Os.4 podanie pacjentowi leków |
| 7 | 51 | 510 | Os.1 poleca Os.2 monitorowanie dróg oddechowych |
| 8 | 96 | 960 | Os.1 poleca Os.3 podłączenie pacjentowi pulsoksymetru. Os.2 rozmawia z pacjentem, który mówi iż, oddycha z trudnościami, rozpoczyna przygotowanie maski tlenowej dla pacjenta. |
| 9 | 105 | 1050 | Os.1 poleca Os.3 zmierzenie pacjentowi ciśnienia tętniczego krwi. Os.1 próbuje następnie wykonać telefon na Oddział Kardiologii, jednak telefon jest zajęty – brak kontaktu z oddziałem. Os.2 zakłada maskę tlenową pacjentowi. |
| 10 | 132 | 1320 | Os.1 poleca Os.4 podłączenie „ płynów” pacjentowi oraz pobranie krwi do badania. Os.2 zakłada maskę tlenową pacjentowi. Os.3 kontynuuje pomiar ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| | | | Os.3 informuje o zmierzonym ciśnieniu tętniczym krwi pacjenta (130/90) lekarza (Os.1) Pacjent informuje zespół o narastającym bólu w klatce piersiowej. Os.2 (pielęgniarka) sugeruje podanie pacjentowi morfiny bądź nitrogliceryny, jednak musi uzyskać zgodę lekarza. Os.4 dokonuje wkłucia do żyły łokciowej prawej i założenie wenflonu, następnie pobiera krew, dostarcza próbki do laboratorium, po czym podaje środki pacjentowi. Os.1 poleca sprawdzić Os.3 zalecane dawki nitrogliceryny. |
| 11 | 176 | 1760 | Os.1 przeprowadza z pacjentem wywiad - pacjent przekazuje dodatkowe informacje o historii leczenia na chorobę serca oraz na nadciśnienie, przyjmowanych lekach oraz braku reakcji uczuleniowej na leki. Os.4 zanosi próbki krwi do laboratorium - w 247 sekundzie. Os.2 przy chwilowym braku zgody lekarza wstrzymuje się z podaniem nitrogliceryny. |
| 13 | 274 | 2740 | Os.1 poleca Os.2 podanie pacjentowi nitrogliceryny |
| 14 | 291 | 2910 | Os.2 podaje pacjentowi nitroglicerynę doustnie. |
| 15 | 317 | 3170 | Os.3 stwierdza brak poprawności zapisu EKG. Os.1 ponownie wykonuje połączenie telefoniczne do Oddziału Kardiologii. Lekarz kardiolog odmawia konsultacji w przypadku, gdy nie wykonano badania dwunastoodprowadzeniowego EKG. Os.2 podnosi oparcie pacjenta, lekko pionizując jego postawę. |
| 16 | 366 | 3660 | Os.1 telefonuje do technika EKG, celem wykonania dwunastoodprowadzeniowego EKG. Os.3 przegląda |

| | | | |
|----|-----|------|---|
| | | | podręcznik ratownictwa medycznego celem ustalenia dawki morfiny, którą należy podać pacjentowi. |
| 17 | 410 | 4100 | Os.1 poleca pomiar ciśnienia pacjentowi. Os.4 przystępuje do pomiaru. Os.3 informuje zespół lekarzy o prawidłowej dawce morfiny (od 3mg do 5 mg). |
| 18 | 421 | 4210 | Technik EKG pojawia się na sali, wykonuje badanie oraz przedstawia zapis Os.1. Os.1 poleca Os.2 przygotowanie morfiny. |
| 19 | 462 | 4620 | Os.3 pomaga w interpretacji zapisu EKG. Os.1 stwierdza zawał serca z zapisu dwunastoodprowadzeniowego EKG. |
| 20 | 485 | 4850 | Os.2 pyta raz jeszcze Os.3 o odpowiednią dawkę morfiny, następnie Os.2 podaje 3mg morfiny dożylnie pacjentowi |
| 21 | 507 | 5070 | Zespół informuje pacjenta, iż rozpoznano u niego zawał. Os.1 telefonuje do Oddziału Kardiologii Inwazyjnej. Lekarz dyżurny pyta o lokalizację zawału, obecność objawów niewydolności prawo- bądź lewo- komorowej, obecność obrzęków na kończynach, obecność tężna na tętnicach udowych. Zespół nie sprawdził wszystkich wymienionych czynników. Lekarz poleca sprawdzić wymienione aspekty i następnie przywieźć pacjenta na oddział hemodynamiki. Os.4 pomaga Os.1 w lokalizacji zawału w zapisie EKG dwunastoodrowadzeniowego. Os.2 utylizuje zużytą strzykawkę, którą wcześniej zaaplikowała pacjentowi morfinę. |
| 22 | 607 | 6070 | Os.1 kontynuuje rozmowę telefoniczną z lekarzem z Oddziału Kardiologii, który zadaje dalsze pytania nt. stanu pacjenta, m.in. obrzęki czy tężno na kończynach dolnych. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| | | | Os.2 sprawdza obrzęki na kończynach pacjenta |
| 23 | 707 | 7070 | Os.3 dołącza do Os.2 i sprawdza obrzęki na kończynach pacjenta – potwierdzenie obrzęków w okolicy kostek. Os.2 zaczyna tłumaczyć pacjentowi, iż koniecznym może okazać się zabieg na Oddziale Kardiologii Zabiegowej. Następnie Os.1 ponownie tłumaczy pacjentowi istotę zabiegu koronarografii, oraz jej konieczność w aktualnym stanie pacjenta. |
| 24 | 862 | 8620 | Pacjent wyraża zgodę na zabieg koronarografii na Oddziale Kardiologii Inwazyjnej. |

Scenariusz B2: Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **30.0**
należy zwrócić uwagę na efektywne pobieranie próbki co 100ms (0,1s)
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregów czasowych: **10Hz**
- Rozdzielcość: **640x480**

Opis scenariusza:

Pacjent sześćdziesięcioletni zostaje przyjęty na Szpitalny Oddział Ratunkowy (SOR) z powodu trwających od dwóch dni wymiotów i biegunki. Pacjent skarżył się wcześniej na zawroty głowy oraz ogólne osłabienie. Pacjent leczy się z powodu Choroby Niedokrwiennej Serca (ChNS), nadciśnienia tętniczego, przewlekłej niewydolności krążenia. Ratownicy PR wiedzą iż pacjent jest uczulony na penicylinę, sierść kota oraz trawy, a także spożył ostatni posiłek 3 godziny temu, jednak niezapytani o wspomniane szczegóły oddalają się z sali SORu sami nie przekazując tych informacji, jedynie w przypadku bezpośredniego pytania ze strony zespołu ratowników.

Scenariusz zaczyna się telefonem z dyspozytorni Pogotowia Ratunkowego (PR), iż sześćdziesięcioletni pacjent dotrze w przeciągu pięciu minut na SOR. Stan pacjenta opisywany jest jako „niestabilny hemodynamicznie”, z częstoskurczem (130/min), ciśnieniem 80/40, gdzie

pacjent wymiotuje on od dwóch dni i ma biegunkę. Ratownicy PR zostawiają listę leków, które pacjent spożywa na ww. choroby.

Pacjent nie jest pełni świadomości, wydaje okrzyki bólowe, zespół ratunkowy nie ma możliwości porozumienia się z pacjentem i zebrania od niego wywiadu, gdyż odpowiada jedynie na proste pytania. Zgodnie z założonym scenariuszem stan pacjenta w zakresie parametrów życiowych nie ulega zmianie niezależnie od stosowanej terapii. Stan przytomności pogarsza się co pięć i następne dziesięć minut od momentu przyjazdu karetki pogotowia ratunkowego.

W przypadku wykonania przez zespół badania:

- Elektrokardiograficznego (EKG) – zapis wykazuje objawy świadczące o hiperkaliemii
- RTG klatki piersiowej – obraz cechujący się obrzękiem płuc
- Badanie osłuchowe – nad polami płucnymi słyszalne trzeszczenia

Osoby w scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]:

- Czas pojawienia się osoby na Sali: 22s (zdarzenie 3)
- Młodsza lekarz wezwana przez Os.2 na salę SORu – miejsca, w którym odbywa się dany scenariusz

Osoba 2 [Os.2]:

- Czas pojawienia się na Sali: od początku scenariusza - 0s (zdarzenie 1)
- Pielęgniarka dyżurna otrzymująca jako pierwszy informację od Pogotowia Ratunkowego, iż niebawem na Szpitalny Oddział Ratunkowy trafi pacjent niestabilny hemodynamicznie.

Osoba 3 [Os.3]:

- Czas pojawienia się osoby na Sali: 16s (zdarzenie 2)
- Kierowniczka zespołu, starsza lekarz wezwana na salę SORu przez Os.2 wraz z resztą zespołu (Os.1, Os.4)

Osoba 4 [Os.4]:

- Czas pojawienia się osoby na Sali: 22s (zdarzenie 3)
- Pielęgniarka wezwana na salę SORu przez Os.2 wraz z resztą zespołu (Os.1, Os.3)

Tabela 7: zdarzenia scenariusza B2 - zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|----------|--|---|
| 1 | 0 | 0 | Os.2 wzywa do pomocy resztę zespołu ratowników Os.1, Os.2 oraz Os.4. Os.2 nie zapamiętała szczegółów informacji podanych przez pracowników Pogotowia Ratunkowego (PR) – pacjent niestabilny hemodynamicznie. |
| 2 | 16 | 160 | Przybycie na salę Os.3 |
| 3 | 22 | 220 | Przybycie na salę Os.1 oraz Os.4. Os.2 przedstawia krótko zarys sytuacji pacjenta |
| 4 | 53 | 530 | Os.3 poleca Os.2 przygotować adenozynę |
| 5 | 77 | 770 | Os.3 włącza defibrylator |
| 6 | 138 | 1380 | Os.3 sprawdza w podręczniku objętości podawanych leków |
| 7 | 156 | 1560 | Na miejsce zdarzenia przybywa półprzytomny pacjent wraz z dwoma pracownikami PR, którzy szybko przedstawiają sytuację i stan pacjenta, oraz wręczają zespołowi listę leków, jakie pacjent przyjmuje. |
| 8 | 175 | 1750 | Os.1 poleca Os.4 przeczytanie listy leków przyjmowanych przez pacjenta. |
| 9 | 200 | 2000 | Os.2 zakłada pacjentowi maskę tlenową |
| 10 | 210 | 2100 | Pracownicy PR opuszczają salę SORu. Os.3 podłącza pacjenta do pulsoksymetru. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| 11 | 213 | 2130 | Technik EKG wykonuje dwunastoodrowadzeniową elektrokardiografię. Os.2 kończy zakładanie maski tlenowej pacjentowi, ustawia odpowiednią podaż tlenu podawaną przez maskę. |
| 12 | 230 | 2300 | Os.1 sprawdza przytomność pacjenta. Os.4 zakłada rękawiczki ochronne |
| 13 | 237 | 2370 | Os.2 rozpoczyna wykonanie wkładania dożylnego pacjentowi |
| 14 | 248 | 2480 | Os.1 osłuchuje klatkę piersiową pacjenta |
| 15 | 256 | 2560 | Os.4 podaje stetoskop Os.3. Os.3 dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta |
| 16 | 289 | 2890 | Os.3 stwierdza ciśnienie krwi pacjenta 80/60 |
| 17 | 300 | 3000 | Technik EKG dostarcza zapis wykonanego badania |
| 18 | 305 | 3050 | Os.1 oraz Os.3 analizują zapis EKG |
| 19 | 337 | 3370 | Os.2 kończy zakładanie pacjentowi wenflonu oraz pobieranie próbki krwi, którą powierza Os.4, celem wysłania jej do laboratorium. Os.4 do tego momentu nie wykonała żadnych kroków związanych bezpośrednio z pacjentem. |
| 20 | 351 | 3510 | Os.2 próbuje nawiązać kontakt z pacjentem, ten jednak nie jest w pełni świadom. Os.4 także analizuje zapis EKG. |
| 21 | 378 | 3780 | Os.4 dokonuje pomiaru tętna pacjenta. Os.2 przekazuje informacje o niemożliwości uzyskania od pacjenta jakichkolwiek informacji. |
| 22 | 396 | 3960 | Os.3 stwierdza nadmierną suchość skóry, wysuszenie śluzówek oraz języka. |
| 23 | 425 | 4250 | Os.1 poleca Os.2 podłączyć pacjenta do kroplówki, Os.2 przystępuje do podłączenia pacjenta do kroplówki. |

| | | | |
|----|-----|------|--|
| 24 | 432 | 4320 | Os.3 ponownie analizuje zapis EKG. Os.1 przegląda podręcznik postępowania. |
| 25 | 530 | 5300 | Zespół lekarzy (Os.1 oraz Os.3) analizuje zebrane parametry pacjenta: niską saturację krwi, niskie ciśnienie, suchość skóry i śluzówek, brak kontaktu z pacjentem, zapis EKG. Os.2 w połowie zdarzenia kończy dokonywanie podłączenia pacjenta do kroplówki. |
| 26 | 558 | 5580 | Osoba z laboratorium dostarcza wyniki badań krwi pacjenta. Os.3, Os.1 oraz Os.4 analizują wyniki pacjenta. Os.1 sugeruje Os.2 podanie pacjentowi glukozy. |
| 27 | 602 | 6020 | Os.3 wykonuje połaczenie telefoniczne do Oddziału Kardiologii. Lekarz kardiolog pyta dodatkowo o parametry nerkowe, podejrzewa niewydolność nerek i sugeruje kontakt z nefrologiem. |
| 28 | 660 | 6600 | Pacjent zaczyna robić się siny, a jego oddech płytki i niemiarowy. Os.1 zwiększa podaż tlenu na masce tlenowej pacjenta, dalej zauważa spłycenie oddechu pacjenta, dalej osłuchuje klatkę piersiową pacjenta. |
| 29 | 679 | 6790 | Os.2 podaje pacjentowi dożylnie glukozę. Os.3 odczytuje saturację krwi pacjenta. |
| 30 | 790 | 7900 | Os.3 stwierdza utratę przytomności przez pacjenta. Os.1 intubuje pacjenta. Gdy pacjent zaczyna robić się bardzo siny, Os.3 poleca zespołowi wentylować pacjenta:. Os.2 oraz Os.1 przygotowują w tym celu maskę krtaniową. Os.4 pomaga w dalszym procesie wentylacji pacjenta. |
| 31 | 821 | 8210 | Os.1 zakłada pacjentowi maskę krtaniową, gdzie Os.2 rozpoczyna ręczną wentylację płuc pacjenta. |

| | | | |
|----|------|--------|--|
| 32 | 858 | 8580 | Os.4 przejmuje proces wentylacji pacjenta. Os.1 przytrzymuje maskę wokół dróg oddechowych pacjenta, następnie Os.2 oczyszcza drogi oddechowe pacjenta. |
| 33 | 930 | 9300 | Sinica na ciele pacjenta powoli znika wskutek wentylacji płuc. |
| 34 | 948 | 9480 | Os.4 kontynuuje proces wentylacji pacjenta. Os.2 przytrzymuje maskę wokół dróg oddechowych pacjenta. |
| 35 | 964 | 9640 | Os.3 oraz Os.1 zastanawiają się nad podaniem pacjentowi Amiodaronu w odpowiedniej dawce (lek działający na układ krążenia wielostronnie, m.in. zmniejsza zapotrzebowanie mięśnia sercowego na tlen oraz hamuje fazę czwartą potencjału błonowego), który działa antyarytmicznie, oraz rozszerza naczynia wieńcowe, zmniejsza opory naczyniowe na obwodzie – odciąża pracę serca. Ostatecznie wstrzymuje się z decyzją. Zespół ponownie analizuje zapis EKG pacjenta. Os.2 oraz Os.4 kontynuują ręczną wentylację płuc pacjenta |
| 36 | 1010 | 10 100 | Dzwoni telefon z laboratorium. Os.3 odbiera połaczenie, dowiaduje się, iż reszta wysłanych badań pacjenta jest w normie. Po tym telefonie Os.3 oraz Os.1 ponownie analizują zapis EKG. |
| 37 | 1040 | 10 400 | Os.1 oraz Os.3 ponownie wracają do pacjenta, oceniąjąc jego stan. Sinica pacjenta ustąpiła całkowicie. Dalej Os.3 oraz Os.1 zastanawiają się nad dalszym postępowaniem z pacjentem. |
| 38 | 1087 | 10 870 | Os.3 ponownie przystępuje do pobierania krwi pacjentowi. |
| 39 | 1120 | 11 200 | Os.1 ponownie mierzy tętno pacjentowi |

| | | | |
|----|------|--------|---|
| 40 | 1140 | 11400 | Os.1 sprawdza tętno pacjenta na tętnicach udowych – wynik pozytywny. |
| 41 | 1200 | 12 000 | Os.1 telefonuje ponownie do Technika EKG, celem wykonania dwunastoodprowadzieniowego EKG. |
| 42 | 1230 | 12 300 | Technik EKG wykonuje badanie oraz zostawia jego wynik do wglądu zespołowi. Os.1 oraz Os.3 ponownie analizują zapis EKG. |
| 43 | 1305 | 13 050 | Osoba 1 wykonuje połączenie telefoniczne do Oddziału Kardiologii. Lekarz kardiolog pyta o stan pacjenta, powtarza ponownie, iż pacjent raczej nie kwalifikuje się do konsultacji kardiologicznej, a nefrologicznej. Os.2 oraz Os.4 przez cały czas wentylują pacjenta. |
| 44 | 1380 | 13 800 | Os.1 telefonuje do dyżurującego lekarza nefrologa. Lekarz dyżurny stwierdza, iż pacjent kwalifikuje się prawdopodobnie do dializy, jednak wyśle osobę z Oddziału, by sprawdziła pacjenta w związku z niewydolnością nerek. Lekarz pyta o stan pacjenta w skali GLASGOW, częstotliwość oddechu, saturacja, akcja serca (90), ciśnienie (80/40). Lekarz sugeruje kontakt z zespołem Anestezjologów. |
| 45 | 1443 | 14 430 | Os.2 przestaje na moment wentylować pacjenta, sprawdzając, czy nie oddycha samoczynnie. Pacjent zaczyna ponownie robić się siny, nie oddycha sam prawidłowo. |
| 46 | 1483 | 14 830 | Os.1 wykonuje połączenie do Oddziału Anestezjologii, celem konsultacji oraz założenia wkładu do dializy. |
| 47 | 1523 | 15 230 | Os.2 intubuje pacjenta, po czym kontynuuje wentylację płuc. Po chwili następuje koniec scenariusza. |

Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Dane techniczne materiału:

- Liczba klatek na sekundę analizowanego scenariusza w postaci filmu: **30.0**
należy zwrócić uwagę na efektywne pobieranie próbki co 100ms (0,1s).
- Częstotliwość próbkowania generowanych szeregów czasowych: **10Hz**
- Rozdzielcość: **640x480**

Opis scenariusza:

Pacjent 21 letni zostaje przywieziony przez dwóch znajomych do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego (SOR). Został od pchnięty przez nieznanych sprawców nożem w okolicę pachwiny, co spowodowało tętniczy krwotok. Znajomi pacjenta zatrzymywali ten krwotok przez ucisk. Druga rana pacjenta znajduje się w podżebrzu lewym, przez które wydostaje się sieć żołądka.

Scenariusz zaczyna się w momencie wniesienia pacjenta przez jego przyjaciół. Na miejscu zdarzenia znajdują się początkowo dwie pielęgniarki. Zespół lekarzy znajduje się w dyżurce, w związku z tym koniecznie jest ich wezwanie na miejsce zdarzenia.

Znajomi pacjenta początkowo są agresywni, domagając się natychmiastowego zajęcia się pacjentem, bez zadawania pytań odnośnie ran kłutych. Jeden z nich ma zagrozić zespołowi nożem, by przyspieszyć akcję, powodując tym samym większą dezorientację zespołu.

- Główny problem: wstrząs, krwotok zewnętrzny, szybka organizacja pracy, podział zadań w warunkach stresowych (groźby nożem bądź innym ostrym narzędziem)

Osoby w scenariuszu:

Osoba 1 [Os.1]:

- Czas pojawiienia się na miejscu zdarzenia: od początku scenariusza (zdarzenie 1)
- Młodsza lekarz dyżurna

Osoba 2 [Os.2]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 19 sekunda (190 próbka)
- Pielęgniarka

Osoba 3 [Os.3]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: od początku scenariusza (zdarzenie 1)
- Starsza lekarz dyżurna

Osoba 4 [Os.4]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 21 sekunda (210 próbka)
- Pielęgniarka

Osoba 5 [Os.5]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 15 sekunda (150 próbka)
- Lekarz dyżurna

Osoba 6 [Os.6]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 11 sekunda (110 próbka)
- Znajomy pacjenta, który grozi zespołowi nożem

Osoba 7 [Os.7]:

- Czas pojawienia się na miejscu zdarzenia: 10 sekunda (100 próbka)
- Znajomy pacjenta, przekazuje wybiórcze informacje o stanie pacjenta

Tabela 8: zdarzenia scenariusza B - uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

| Lp. | Czas [s] | Czas (liczba próbek od początku filmu) | Opis zdarzenia |
|-----|----------|--|--|
| 1 | 12 | 120 | Pacjent zostaje przywieziony do sali SORu przez dwóch znajomych. Os.6 jest agresywna, grozi ostrym narzędziem (początkowo Os.1), by jak najszybciej zająć się pacjentem. |
| 2 | 36 | 360 | a) <u>36 – 51 [s]</u> Os.3 zawiadamia telefonicznie policę o osobie, która grozi zespołowi ostrym narzędziem. Os.3 decyduje, iż |

| | | | |
|----|-----|-------|--|
| | | | <p>zespół nie podejmie akcji ratowniczej, w przypadku, gdy osoba ta znajduje się na Sali. Os.6 grozi zespołowi ostrym narzędziem</p> <p><u>b) 51 – 63 [s]</u></p> <p>Os.6 w obliczu przerwania przez zespół akcji ratowniczej zastanawia się nad dalszym postępowaniem</p> <p><u>c) 63 – 78 [s]</u></p> <p>Os.6 podchodzi do Os.7, z którą konsultuje dalsze postępowanie. Zespół nie zajął się jeszcze pacjentem.</p> |
| 3 | 78 | 780 | Os.6 przykłada nóż do szyi Os.3 i krzyczy, by zespół zaczął akcję ratowniczą, grozi jej zabiciem. |
| 4 | 84 | 840 | Zespół przystępuje do akcji ratowniczej pacjenta, poza Os.3, która wydaje jedynie polecenia słowne, będąc obezwładniona przez Os.6. |
| 5 | 114 | 1 140 | Os.1 oraz Os.2 zakładają pacjentowi opatrunki w miejscu przecięcia tętnicy w okolicy pachwiny. Os.2 następnie uciska ranę |
| 6 | 120 | 1 200 | Os.6 oraz Os.7 (znajomi pacjenta) uciekają z sali SORu, gdyż przestraszyli się nadjeżdżającego oddziału policji. |
| 7 | 129 | 1290 | Os.5 sprawdza obecność oddechu pacjenta |
| 8 | 142 | 1 420 | Os.5 potwierdza przytomność pacjenta |
| 9 | 158 | 1 580 | Os.5 przeprowadza wywiad z pacjentem: pacjent jest uczulony na pyralginę, nie choruje na nic, nie przyjmuje żadnych innych leków. Os.1 podłącza pacjenta do standardowego aparatu EKG. Os.4 osłuchuje klatkę piersiową pacjenta |
| 10 | 180 | 1800 | Os.5 zakłada pacjentowi maskę tlenową. |
| 11 | 200 | 2000 | Os.3 telefonuje do dyżurującego chirurga, który pyta o stan pacjenta: świadomość, objawy wstrząsu. |

| | | | |
|----|-----|-------|--|
| | | | Chirurg odmawia dalszej konsultacji w przypadku, gdy zespół nie potrafi udzielić informacji na temat wstrząsu, a Os.3 przyznaje, iż jest dopiero w trakcie dalszej analizy pacjenta. |
| 12 | 210 | 2 100 | Os.5 poleca Os.4 sporządzenie dokumentu, który wraz z próbką krwi zostanie przesłany do laboratorium |
| 13 | 235 | 2 350 | Os.5 potwierdza objawy wstrząsu (utrata krwi, pacjent blady i spocony oraz zimny). |
| 14 | 240 | 2 400 | Os.1 zakłada opaskę uciskową na prawe ramię pacjenta celem dokonania wkładania do żyły łokciowej |
| 15 | 250 | 2 500 | Chirurg dyżurny przekazuje informacje, iż odpowiednia osoba z oddziału zostanie wysłana na SOR w krótkim czasie. |
| 16 | 261 | 2 610 | Os.1 dokonuje wkładanie do żyły pacjentowi celem założenia wenflonu i pobrania krwi do badania. |
| 17 | 283 | 2 830 | Os.3 telefonuje do banku krwi: zamawia dwa opakowania krwi 0 RH ⁻ oraz osocza w tej samej ilości |
| 18 | 310 | 3 100 | Os.4 bada nawrót włośniczkowy/kapilarny pacjenta: wynik pomiaru to 4 sekundy. W warunkach prawidłowych nawrót kapilarny wynosi poniżej 2 sekund, wydłużenie świadczy o zaburzeniach krążenia obwodowego. |
| 19 | 315 | 3 150 | Osoba 5 dokonuje badania fizyczego klatki piersiowej pacjenta, okolicy brzucha oraz podbrzusza oraz miednicy, zauważa wystającą sieć żołądka spod opatrunku w lewym podżebrzu. |
| 20 | 323 | 3 230 | Os.5 przy badaniu fizycznym okolicy brzucha, zauważa pod opatrunkiem wystającą sieć żołądka |
| 21 | 356 | 3 560 | Os.1 dostarcza próbkę krwi do badania laboratoryjnego. |

| | | | |
|----|-----|-------|--|
| 22 | 373 | 3 730 | Os.3 poleca Os.1 podanie pacjentowi morfiny w odpowiedniej dawce. Os.1 przygotowuje dawkę. |
| 23 | 390 | 3 900 | Os. 5 kontynuuje badanie fizyczne pacjenta |
| 24 | 400 | 4 000 | Os.3 wykonuje badanie USG brzucha. Wynik: wątroba w normie, nerki w normie. |
| 25 | 425 | 4 250 | Os.1 podaje pacjentowi morfinę w odpowiedniej dawce. Reszta zespołu zastanawia się nad dalszymi krokami w postępowaniu z pacjentem |
| 26 | 461 | 4 610 | Os.3 bada kończyny dolne pacjenta: blada, zimna i spocona skóra; brak tętna na kończynach dolnych. |
| 27 | 475 | 4 750 | Os.5 poleca Os.3 ponowny kontakt telefoniczny z Oddziałem Chirurgii. |
| 28 | 484 | 4 840 | Os.3 ponownie telefonuje do Oddziału Chirurgicznego: odpowiedni lekarz został już wysłany na SOR |
| 29 | 540 | 5 400 | Chirurg przybywa na miejsce zdarzenia, do Sali SORu. |
| 30 | 579 | 5 790 | Chirurg decyduje się wziąć pacjenta na blok operacyjny, po czym następuje koniec scenariusza. |

Opracowanie wygenerowanych szeregow czasowych

Definicja parametru przesunięcia dla wygenerowanych dwuwymiarowych szeregow czasowych

Opisana w części teoretycznej metoda MFdfa przetwarza sygnał jednowymiarowy. Celem analizy wygenerowanych sygnałów skonstruowano parametr zwany przesunięciem P , który jest długością odcinka, czyli drogą na dwuwymiarowej płaszczyźnie, którą analizowana osoba przebyła w rozpatrywanym odcinku czasu. Jednostkowy odcinek czasu odpowiada odwrotności częstotliwości, z jaką zbierano informacje z materiałów filmowych: 10Hz dla filmów o liczbie 30 klatek na sekundę, oraz 5Hz dla filmów o liczbie klatek 15 na sekundę – odpowiednio scenariusze grupy B oraz A. Wynika to bezpośrednio z metodyki zbierania próbek co trzecią klatkę analizowanego scenariusza.

Jednostkowe przesunięcie można w bardzo prosty sposób zdefiniować z zależności geometrycznych na dwuwymiarowej płaszczyźnie o osiach X oraz Y:

$$P(1) = \sqrt[2]{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

gdzie:

(x_1, y_1) – punkt początkowy,

(x_1, y_1) – punkt końcowy, po upłynięciu czasu równemu odwrotności częstotliwości próbkowania dla danego scenariusza.

W przypadku wygenerowanych dwuwymiarowych szeregów czasowych należy utworzyć jednowymiarowy szereg czasowy przesunięcia. Jeśli przyjmiemy za n długość wygenerowanych na podstawie scenariuszy filmowych szeregów czasowych $\{X_n, Y_n\}$, to nowo utworzony szereg czasowy przesunięcia będzie miał długość $n - 1$: $\{P_{n-1}\}$. Poniżej zamieszczono kod programu Matlab realizujący utworzenie szeregów czasowych przesunięcia. Indeksami cyfrowymi zaznaczono numery osób analizowanych w scenariuszu – kod zawiera jedynie przykłady dla osób indeksowanych cyframi 1,2 oraz 3, dla pozostałych osób postępowanie jest analogiczne.

Kod 8: definicja oraz obliczenie szeregu czasowego parametru przesunięcia. Utworzenie wierszowego wektora, szeregu czasowego parametru przesunięcia. Przykład zawiera kod dla osób o indeksach 1,2 oraz 3.

Kod #8

```
n1 = length(x1);
i=1;
p1=[];
for i=1:(n1-1); p1(i)=sqrt( ((x1(i)-x1(i+1))^2) + ((y1(i)-y1(i+1))^2) ); end

n2 = length(x2);
i=1;
p2=[];
for i=1:(n2-1); p2(i)=sqrt( ((x2(i)-x2(i+1))^2) + ((y2(i)-y2(i+1))^2) ); end

n3 = length(x3);
i=1;
p3=[];
for i=1:(n3-1); p3(i)=sqrt( ((x3(i)-x3(i+1))^2) + ((y3(i)-y3(i+1))^2) ); end
# itd. dla osób 4,5,6,7...
```

Po zastosowaniu powyższego kodu wygenerowane zostają jednowierszowe szeregi czasowe parametru przesunięcia. Przedstawiona wcześniej metoda MFDFA operuje na wektorach kolumnowych, stąd konieczna jest transpozycja szeregów czasowych:

Kod 9: Transponowanie wektora wierszowego, szeregu czasowego parametru przesunięcia, do wektora kolumnowego

Kod #9

```
p1 = transpose(p1);
p2 = transpose(p2);
p3 = transpose(p3);
# itd. dla pozostałych szeregów czasowych p4, p5, p6 ...
```

Wartości tego szeregu są wartościami dodatnimi – wartość przebytej drogi jest nieujemna. Dodatkowo, co wykazano dla tych sygnałów w następnym punkcie, mają one charakter szumowy, gdzie wartość wykładnika Hursta zawiera się w przedziale 0,7 – 0,9 dla zanalizowanych materiałów filmowych scenariuszy. Oznacza to brak konieczności dodatkowego całkowania bądź różniczkowania tych sygnałów przed podaniem ich analizie MFDFA. Należy przypomnieć fakt, iż zastosowany algorytm MFDFA przed przystąpieniem do obliczeń fluktuacji dla zdefiniowanych skal pozbawia sygnał trendu poprzez odjęcie wartości średniej, po czym całkuje sygnał. Charakter otrzymanego w ten sposób sygnału nie jest szumowy, lecz przypomina błędzenie losowe (*ang. random walk-like time series*).

Zastosowanie metody DFA do obliczenia wykładnika Hursta wygenerowanych sygnałów przesunięć

Zgodnie z opisem zawartym w punkcie „*Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*”, „*procedura przygotowania sygnału celem dalszego przetworzenia metodą MFDFA. Zastosowanie DFA do badania natury sygnału - szum i błędzenie losowe*” po wygenerowaniu szeregu czasowego odpowiadającego wartościom parametru przesunięcia P , zdefiniowanego w punkcie poprzednim sygnał ten należy poddać analizie DFA, przed dalszym przystąpieniem do analizy MFDFA. Analiza DFA dostarcza informacji o tzw. uogólnionym wykładniku Hursta dla całego szeregu czasowego.

Zgodnie z tabelą 1: „*Podsumowanie rodzaju stosowanych konwersji sygnału i dopasowywanych parametrów numerycznych metod MFDFA zaprezentowanych w poprzednich punktach, w zależności od otrzymanego wykładnika Hursta uzyskanego z metody DFA*”, w

zależności od otrzymanej wartości wykładnika Hursta należy dokonać uprzedniej konwersji tego sygnału w postaci różniczkowania, bądź całkowania, lub pozostawić sygnał bez zmian.

Poniżej zamieszczono otrzymane wykładniki Hursta w formie tabeli, dla każdej analizowanej osoby, spośród każdego rozpatrywanego scenariusza.

| Analizowana osoba | Analizowany scenariusz | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|--|---|--|
| | A1 Zatorowość plucna | A2 Zawał ściany przedniej serca | A3 Odma pluca prawego | B1 Ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie | B2 Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii | B3 Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny |
| 1 | 0,8120 | 0,8246 | 0,8121 | 0,7908 | 0,8244 | 0,7955 |
| 2 | 0,7932 | 0,7413 | 0,7256 | 0,7726 | 0,8161 | 0,8198 |
| 3 | 0,7779 | 0,7859 | 0,7401 | 0,7909 | 0,7827 | 0,8335 |
| 4 | 0,8572 | 0,8100 | 0,7126 | 0,7188 | 0,8678 | 0,8528 |
| 5 | 0,8693 | 0,8656 | - | - | - | 0,8094 |
| 6 | 0,8665 | 0,8690 | - | - | - | 0,8568 |
| 7 | - | - | - | - | - | 0,8128 |

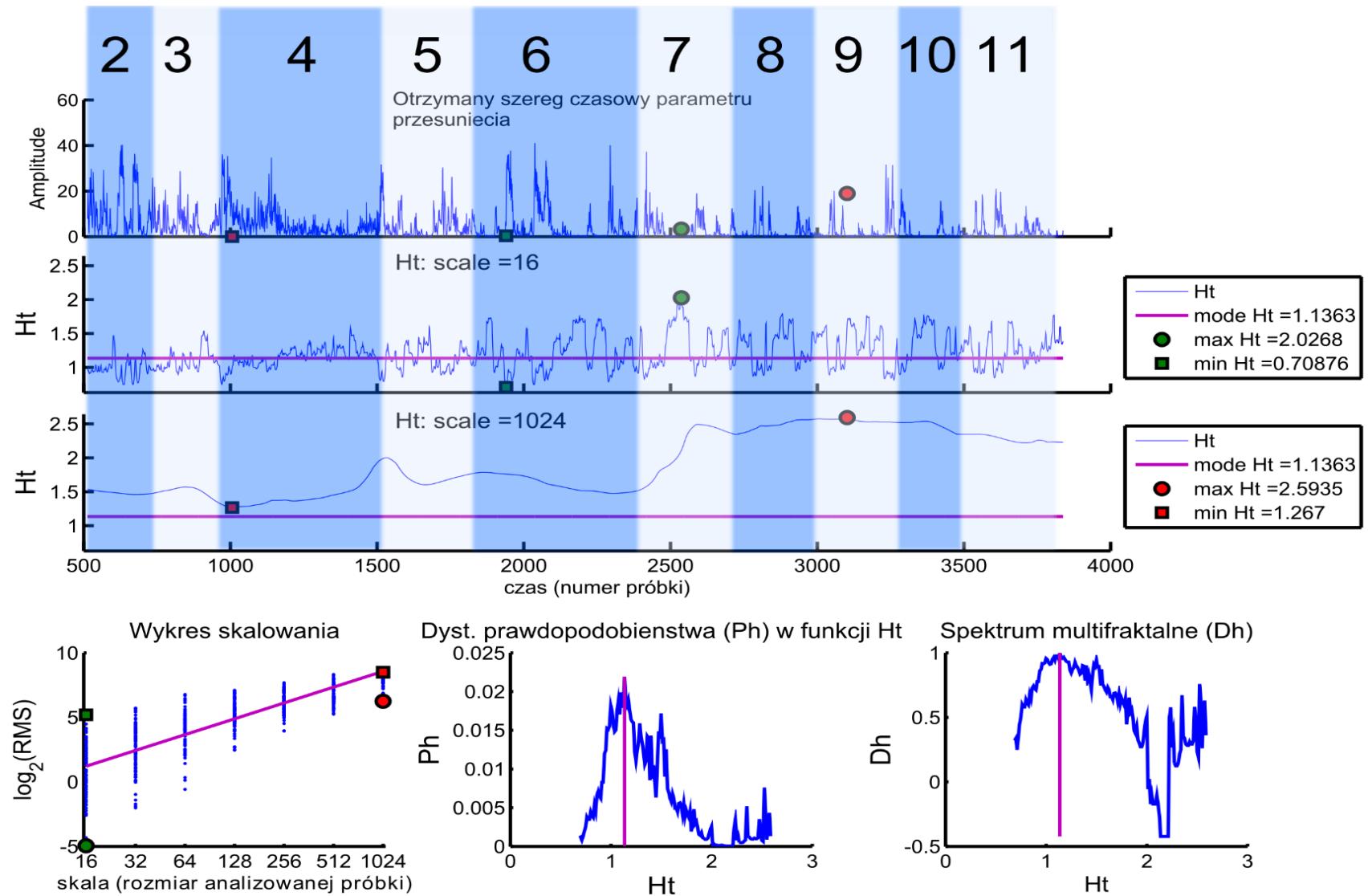
Gdzie „-” oznacza brak osoby w rozpatrywanym scenariuszu.

Zastosowanie metody MFdfa do analizy szeregów czasowych parametru przesunięcia

Na kolejnych stronach zaprezentowano zbiorczo wyniki analizy MFdfa dla wygenerowanych szeregach czasowych ze scenariuszy A oraz B, dla każdej z osób uczestniczącej w eksperymencie. Dane zawierają:

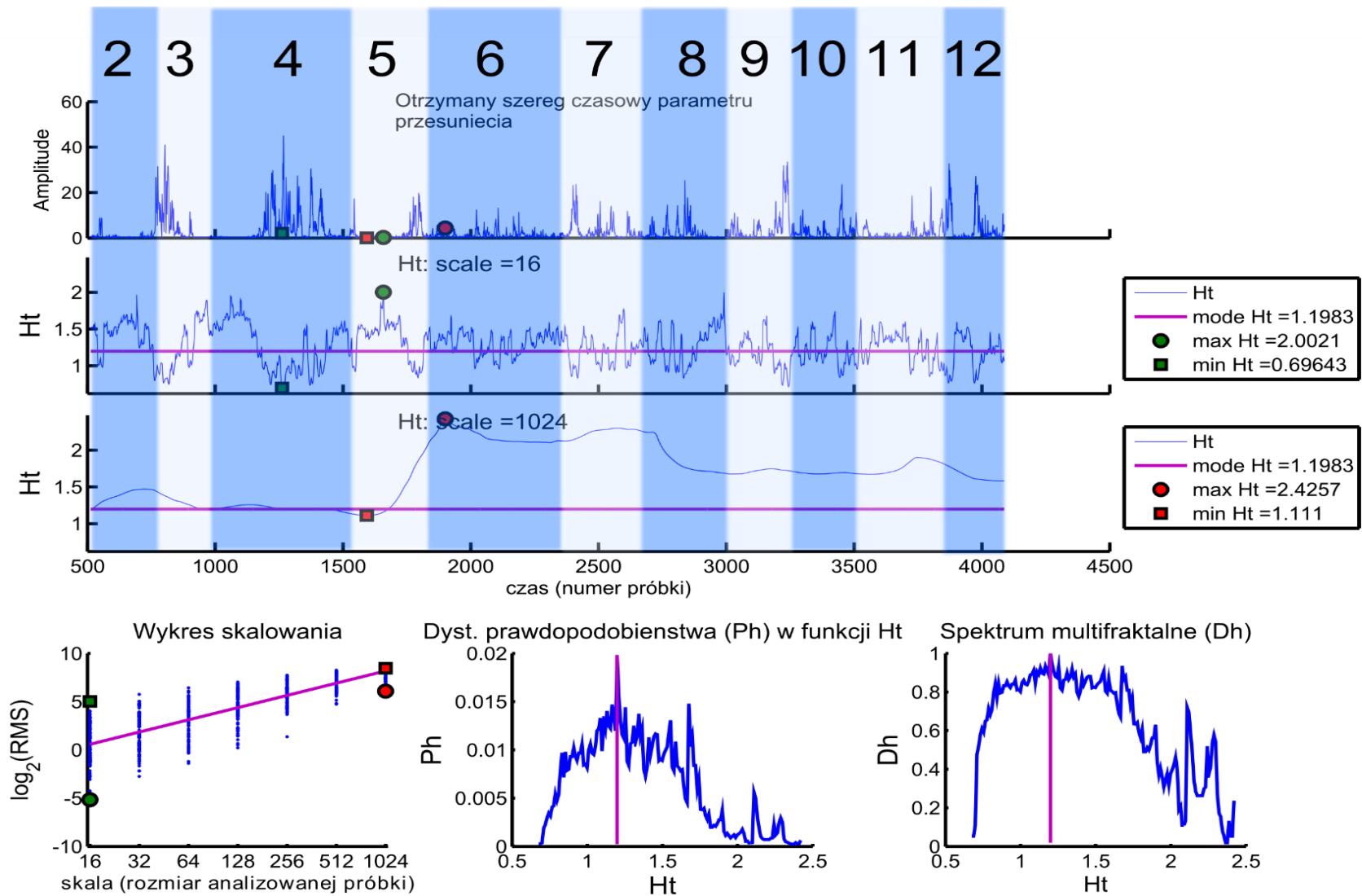
- Wygenerowany szereg czasowy parametru przesunięcia, jak zdefiniowano go w podpunkcie „*definicja parametru przesunięcia dla wygenerowanych dwuwymiarowych szeregów czasowych*” niniejszego punktu.
- Przebiegi zmienności lokalnego wykładnika Hursta Ht dla dwóch zdefiniowanych skal: 16 oraz 1024, z wektora zastosowanych skal: [16,32,64,128,256,512,1024]. W przypadku scenariusza B3, gdzie Os.6 oraz Os.7 występowały w scenariuszu przez czas mniejszy niż 1 minuta i 42 sekundy odpowiadający długością generowanych szeregów czasowych krótszą niż 1024 próbki koniecznym okazało się zastosowanie mniejszych skal – dla tych osób wybrano skalę maksymalną równą 256.
- Dla szeregu czasowego parametru przesunięcia oraz dwóch przebiegów zmienności wykładnika Hursta zaznaczono na osiach czasu wyskalowanych w liczbie próbek zdarzenia występujące w scenariuszach przy pomocy notacji liczbowej. Liczby odpowiadają numerowi zdarzenia danego scenariusza opisanego w dalszej kolejności w punkcie *Analiza szczegółowa otrzymanych wyników – Scenariusz X*, gdzie X odpowiada rozpatrywanemu scenariuszowi. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż dla wszystkich wygenerowanych wykresów zaznaczono możliwie każde występujące w scenariuszu zdarzenie. Zabieg ten istotnie pomaga w dalszym odniesieniu analizy zdarzeń do sporządzonych wykresów, umiejscowieniu ich na osi czasu, oraz porównaniu tak przygotowanych danych między sobą.
- Wykres skalujący – logarytmiczna zależność wartości średniokwadratowej (ang. Root Mean Square) fluktuacji w zależności od rozpatrywanych rozmiarów próbek,
- Dystrybucję prawdopodobieństwa Ph w zależności od lokalnego wykładnika Hursta Ht ,
- Spektrum multifraktalne, zależność parametru Dh w zależności od lokalnego wykładnika Hursta Ht

Scenariusz A1: zatorowość płucna,
Osoba 1



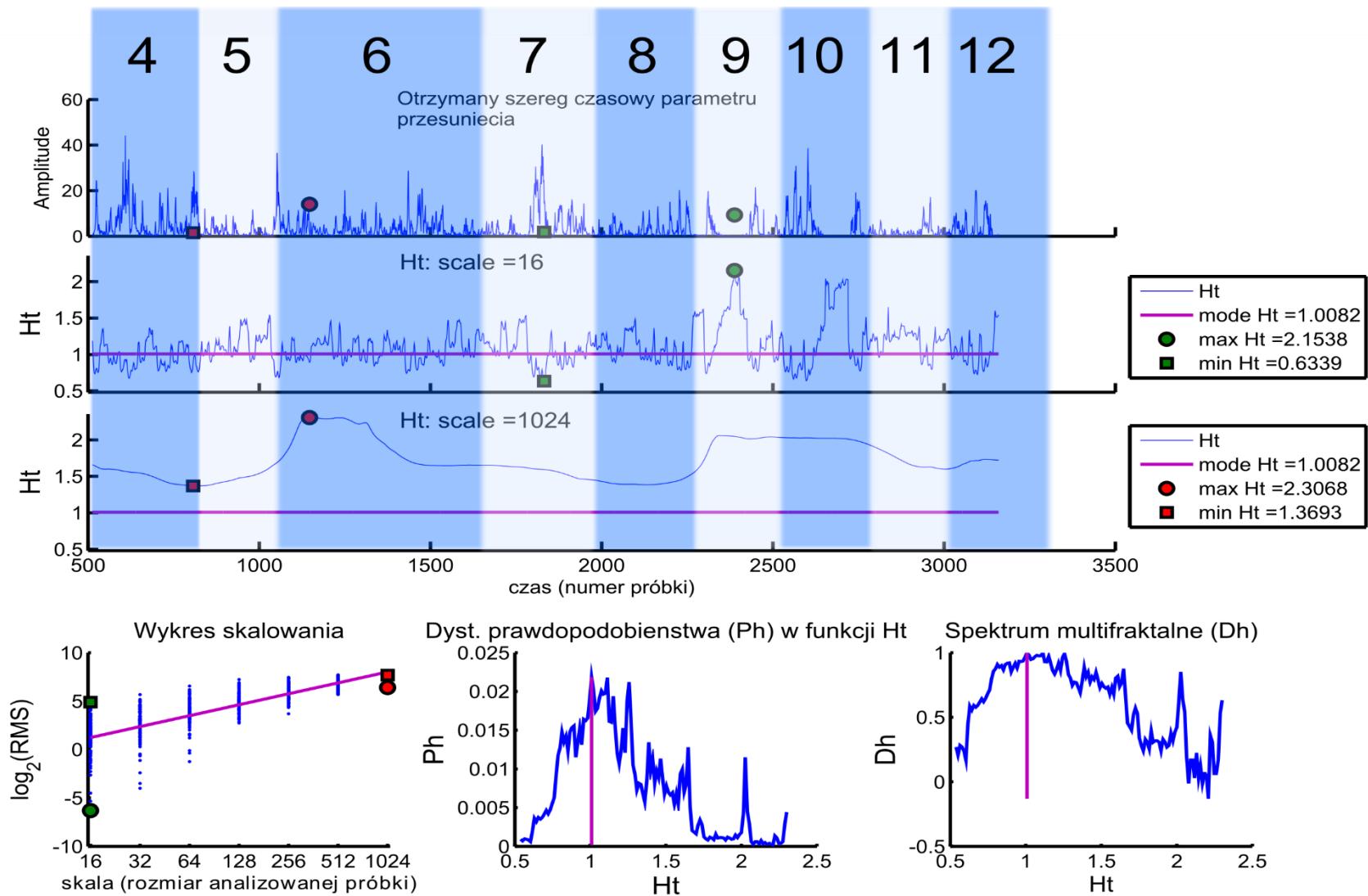
Scenariusz A1- zatorowość płucna

Osoba 2



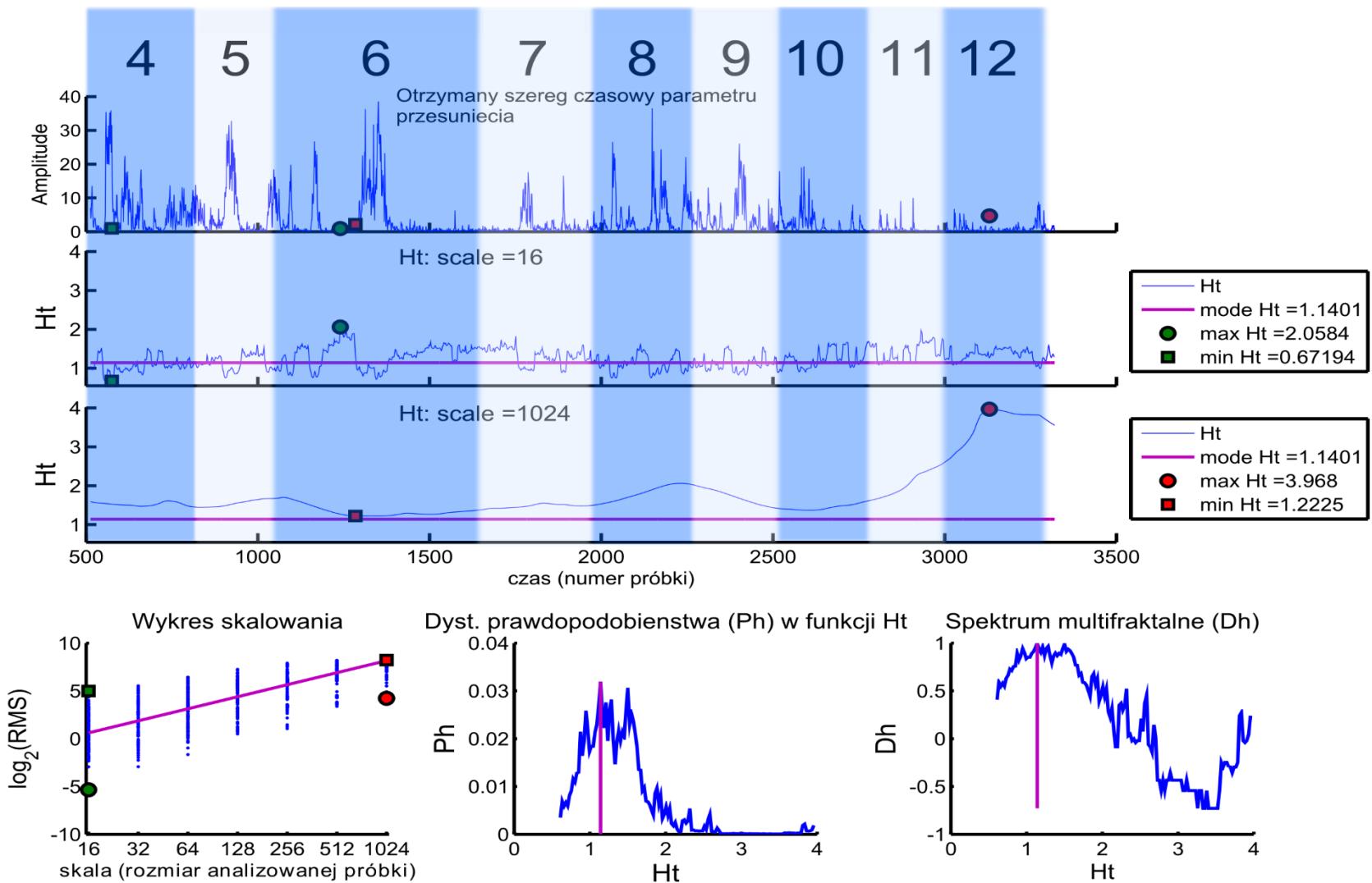
Scenariusz A1- zatorowość płucna

Osoba 3



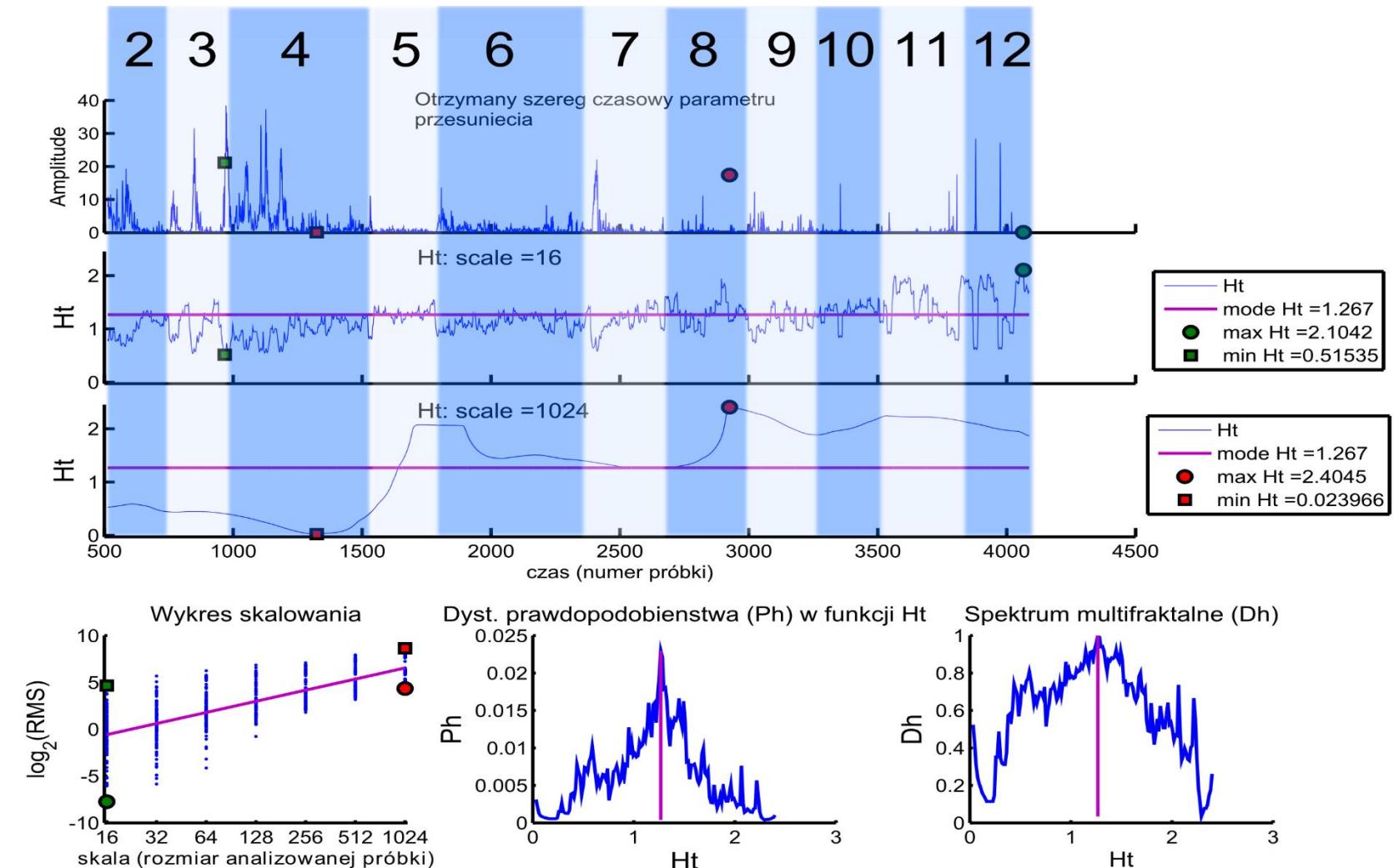
Scenariusz A1- zatorowość płucna

Osoba 4

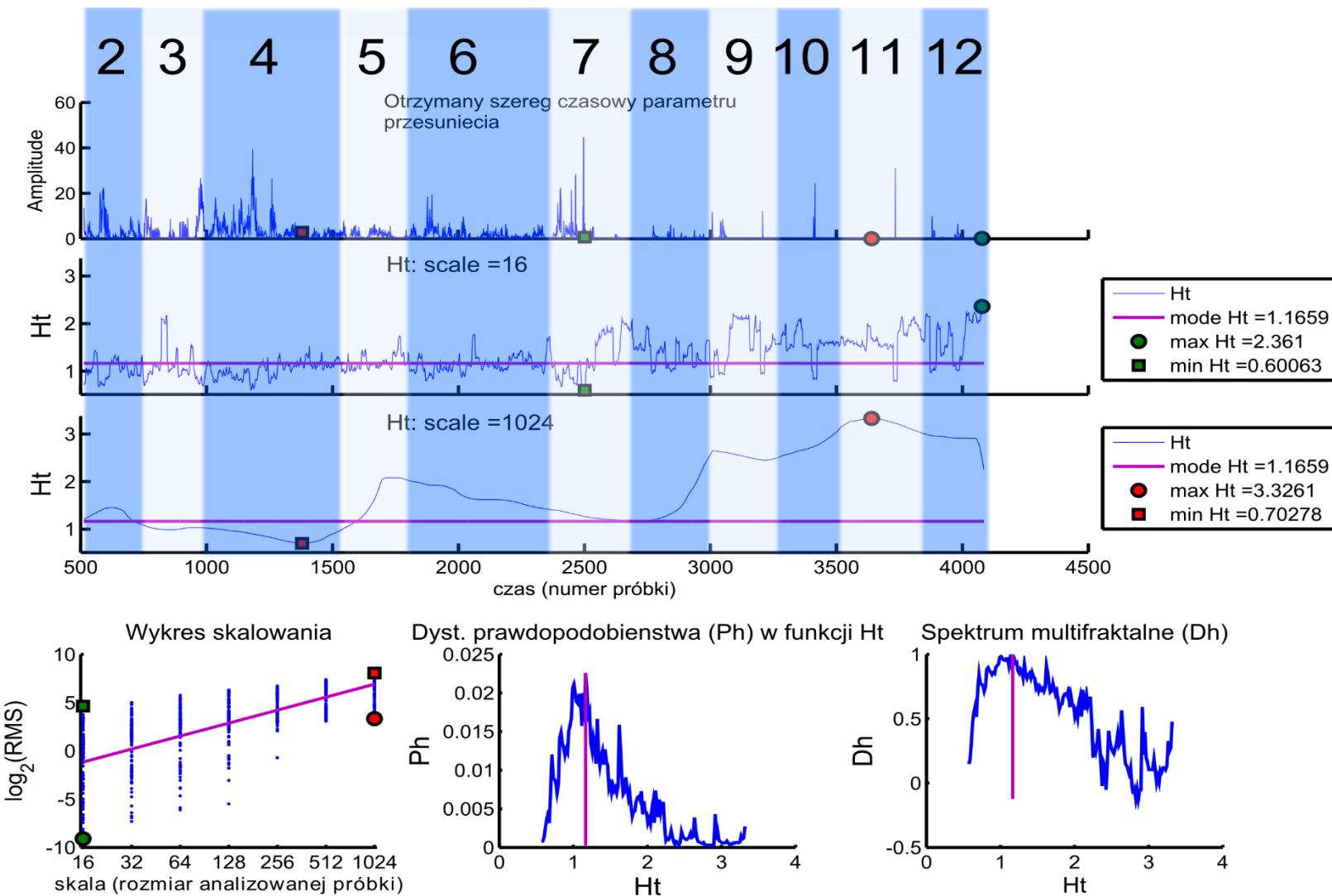


Scenariusz A1- zatorowość płucna

Osoba 5

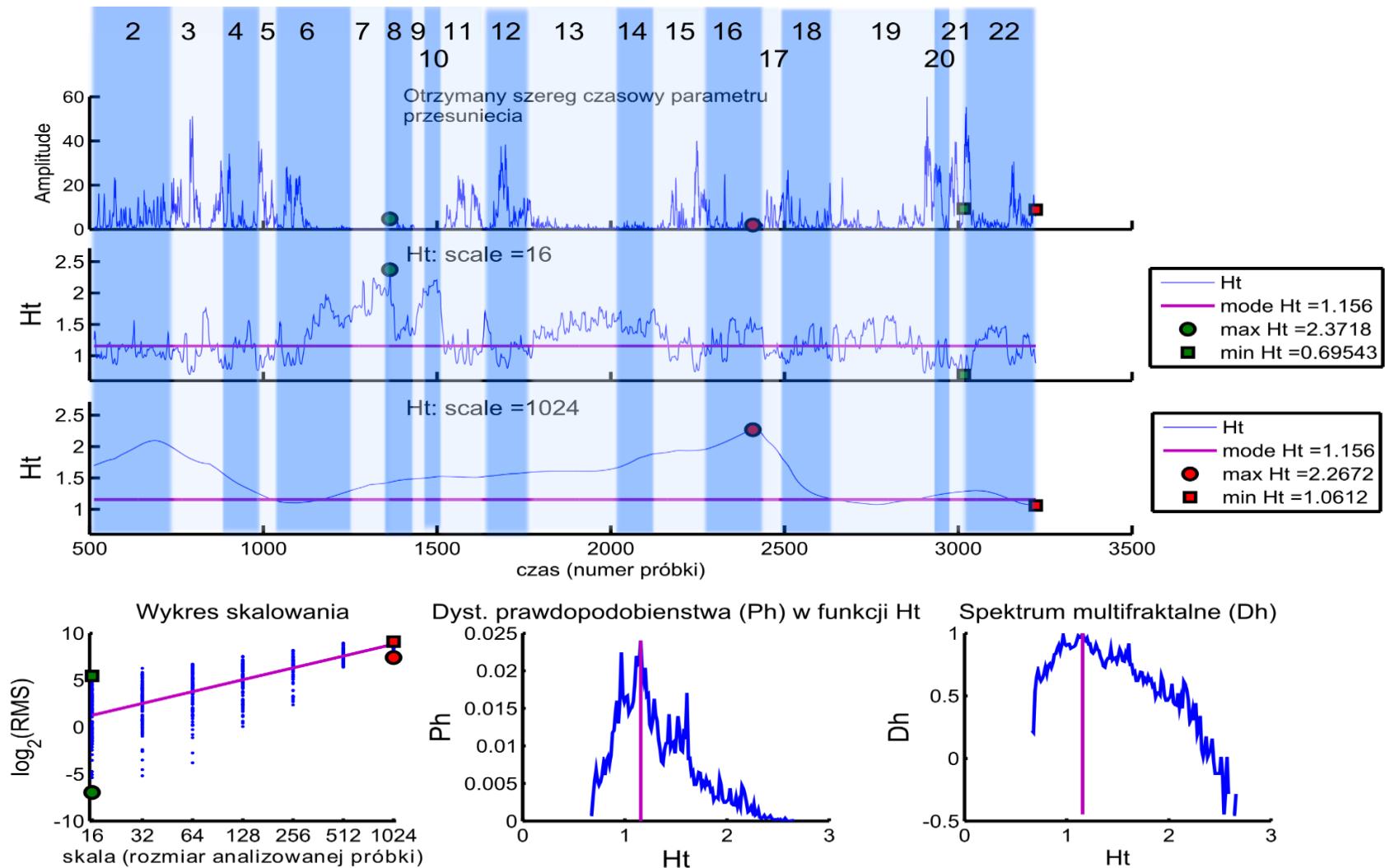


Scenariusz A1- zatorowość płucna Osoba 6



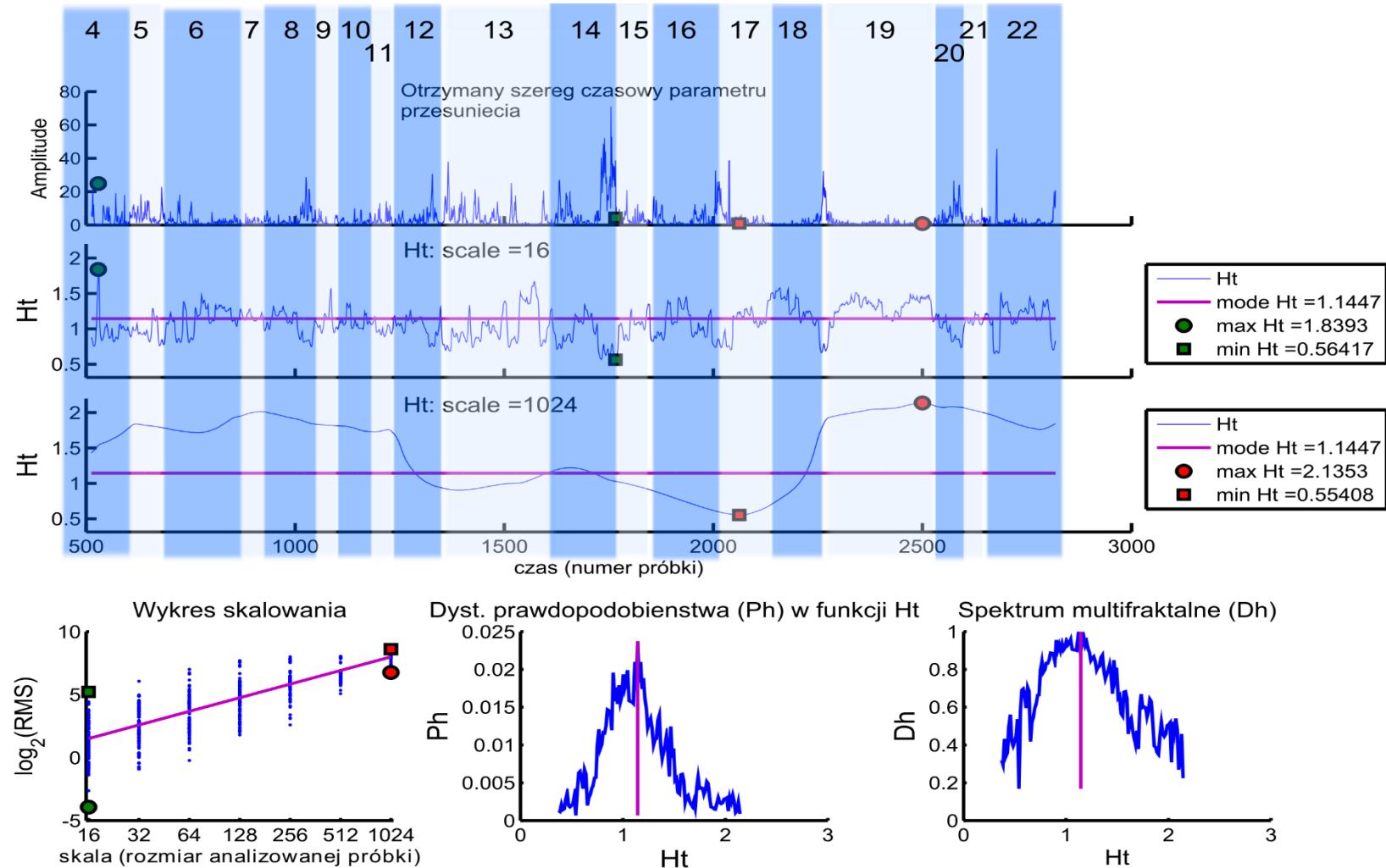
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 1.



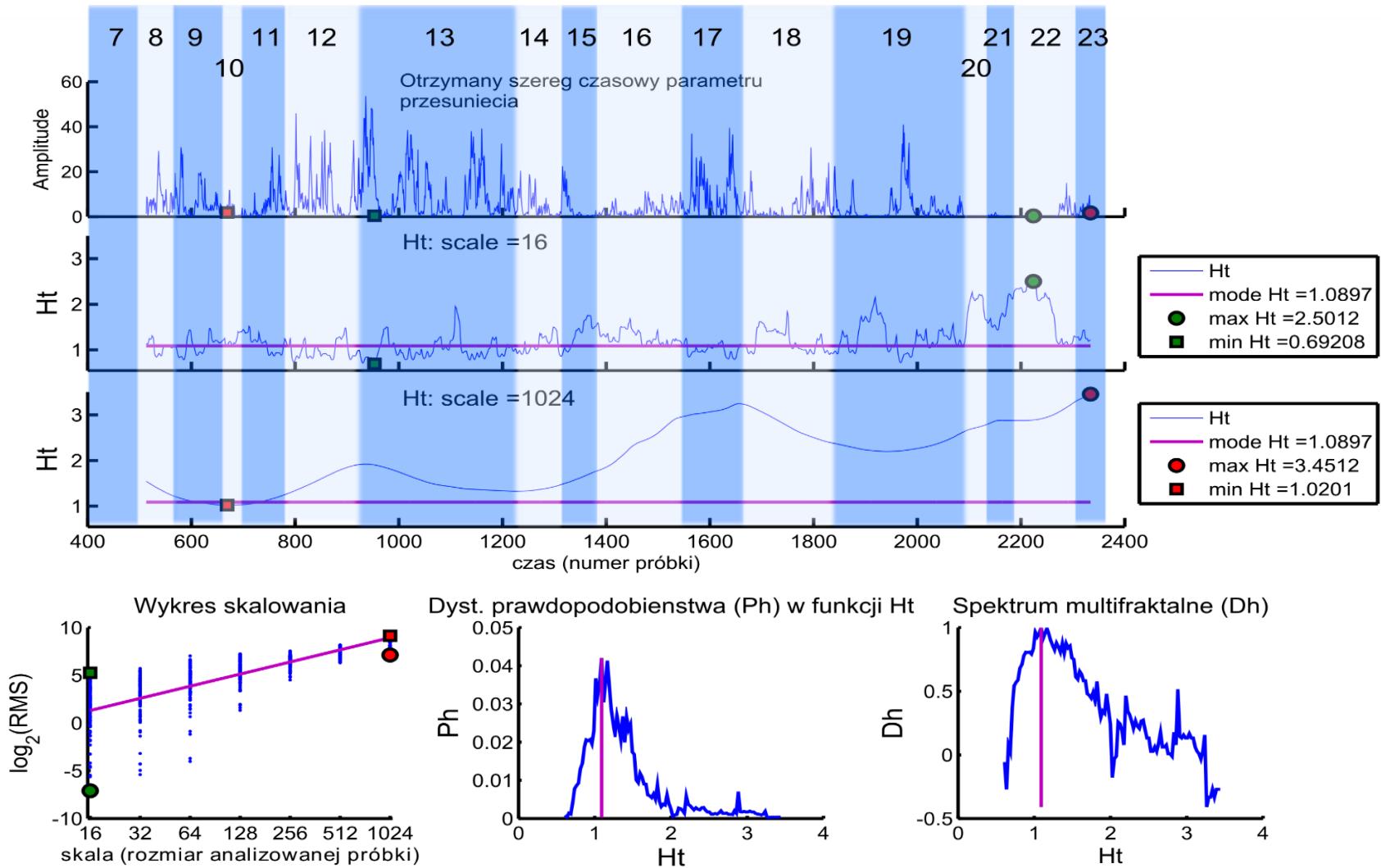
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 2.



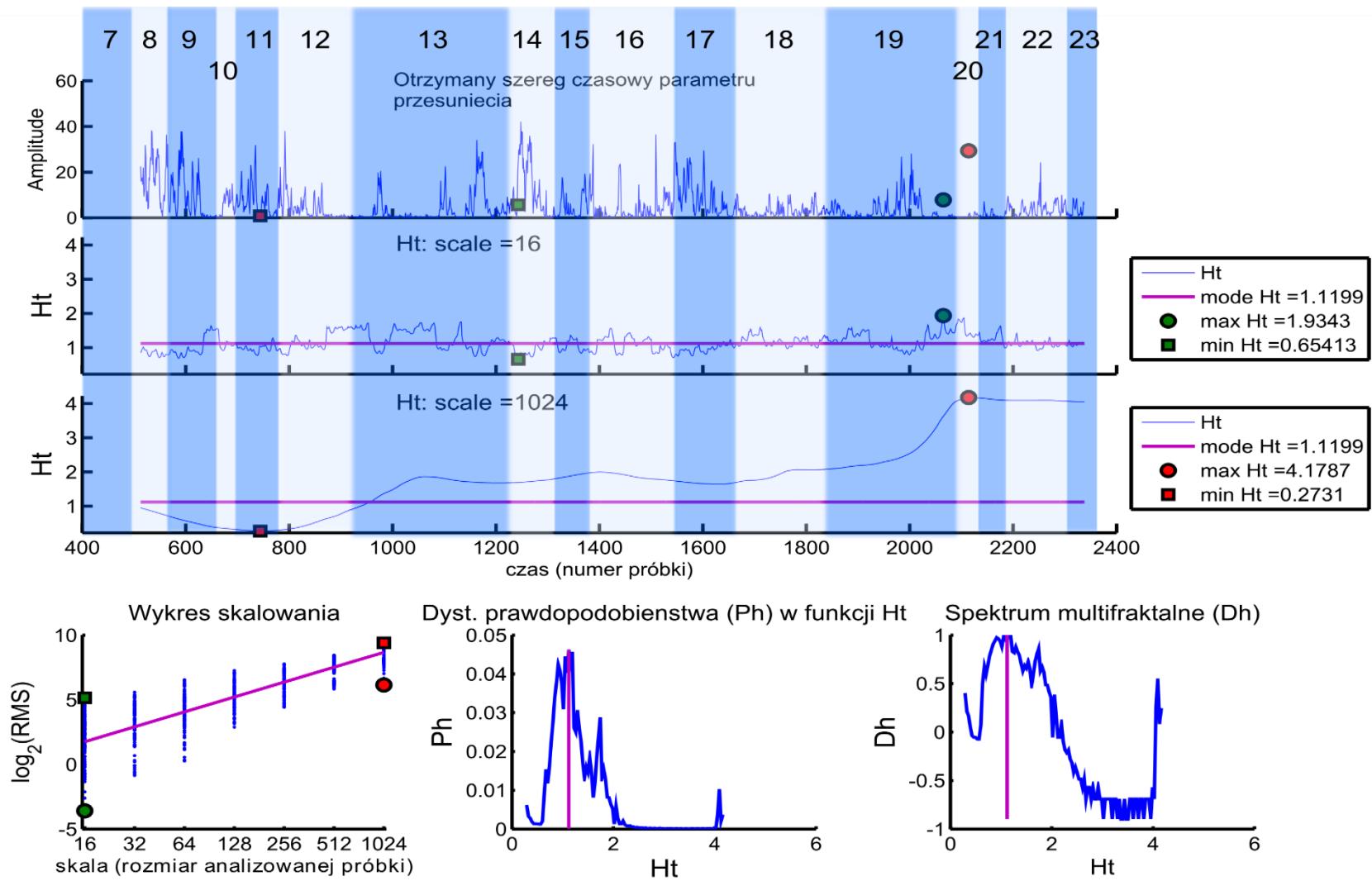
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 3.



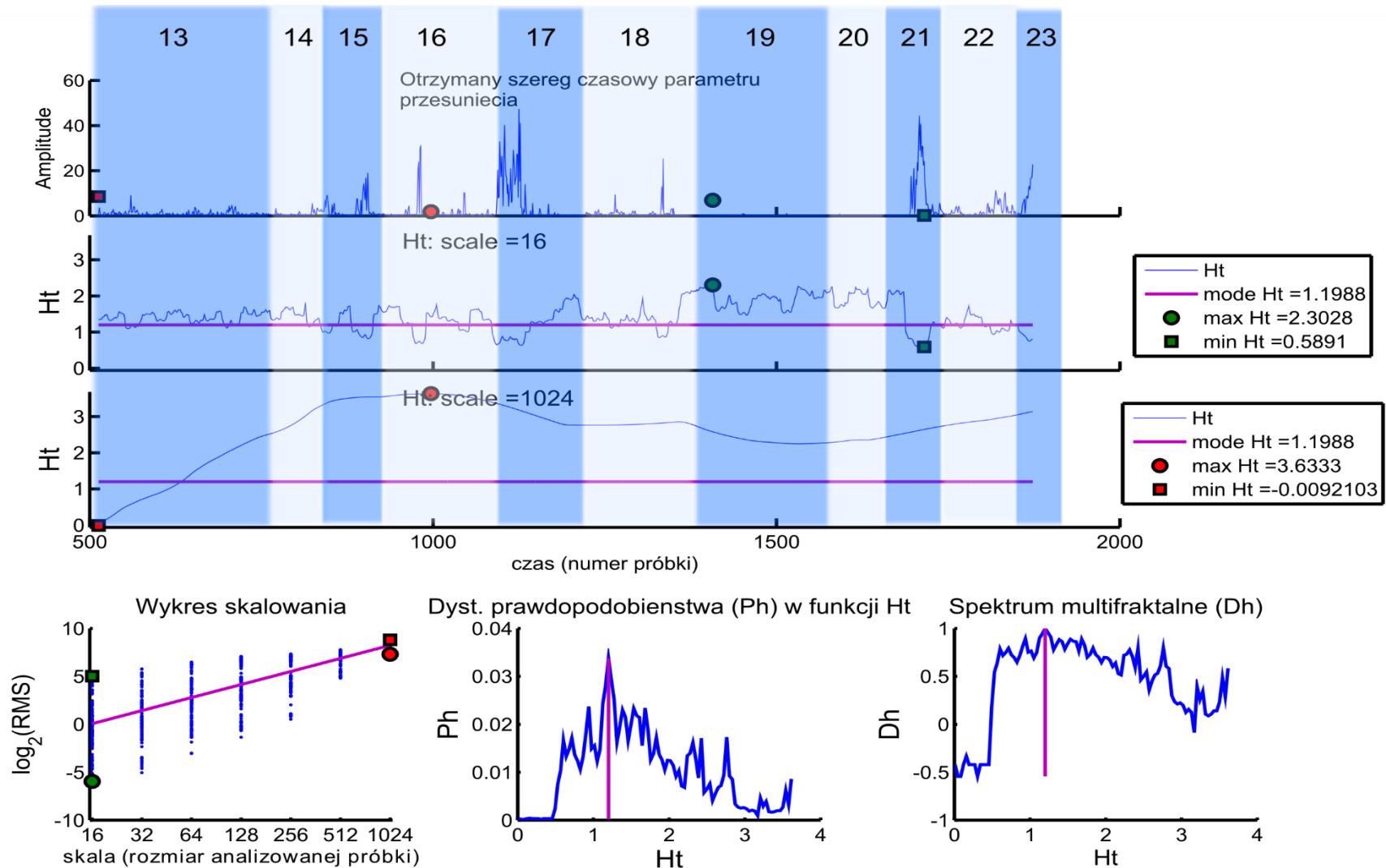
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 4.



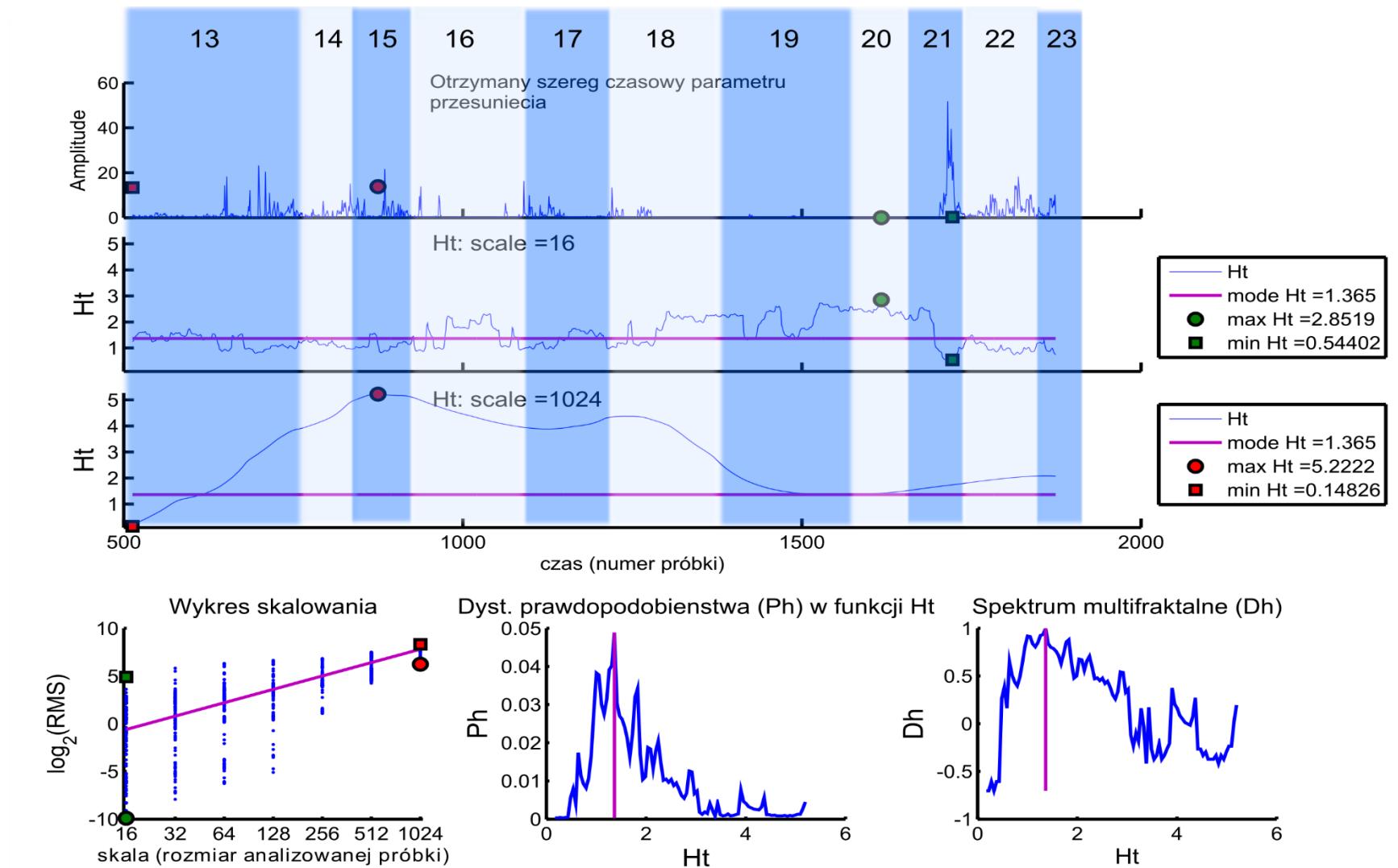
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 5.



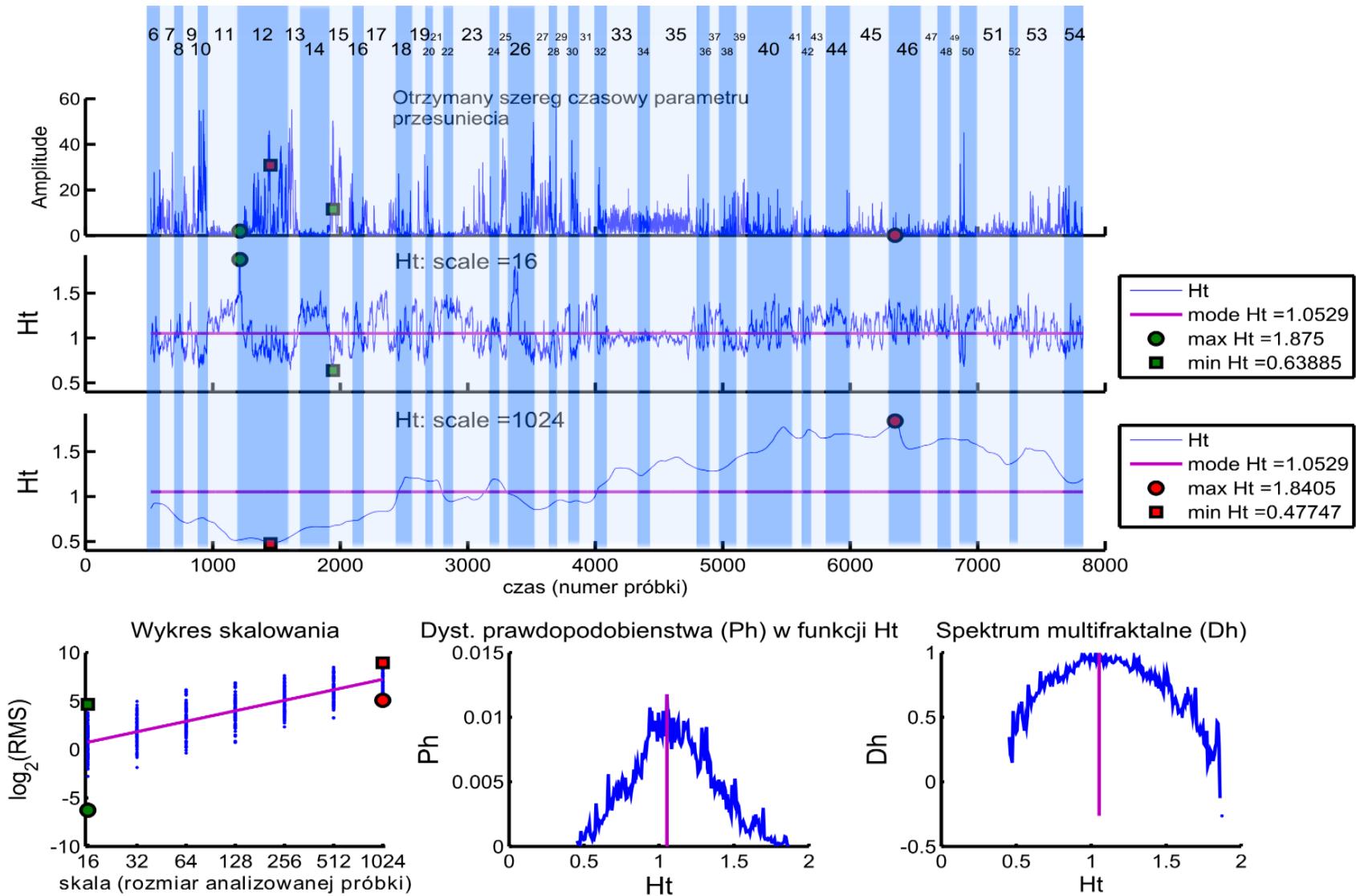
Scenariusz A2: zawał ściany przedniej serca

Osoba 6.



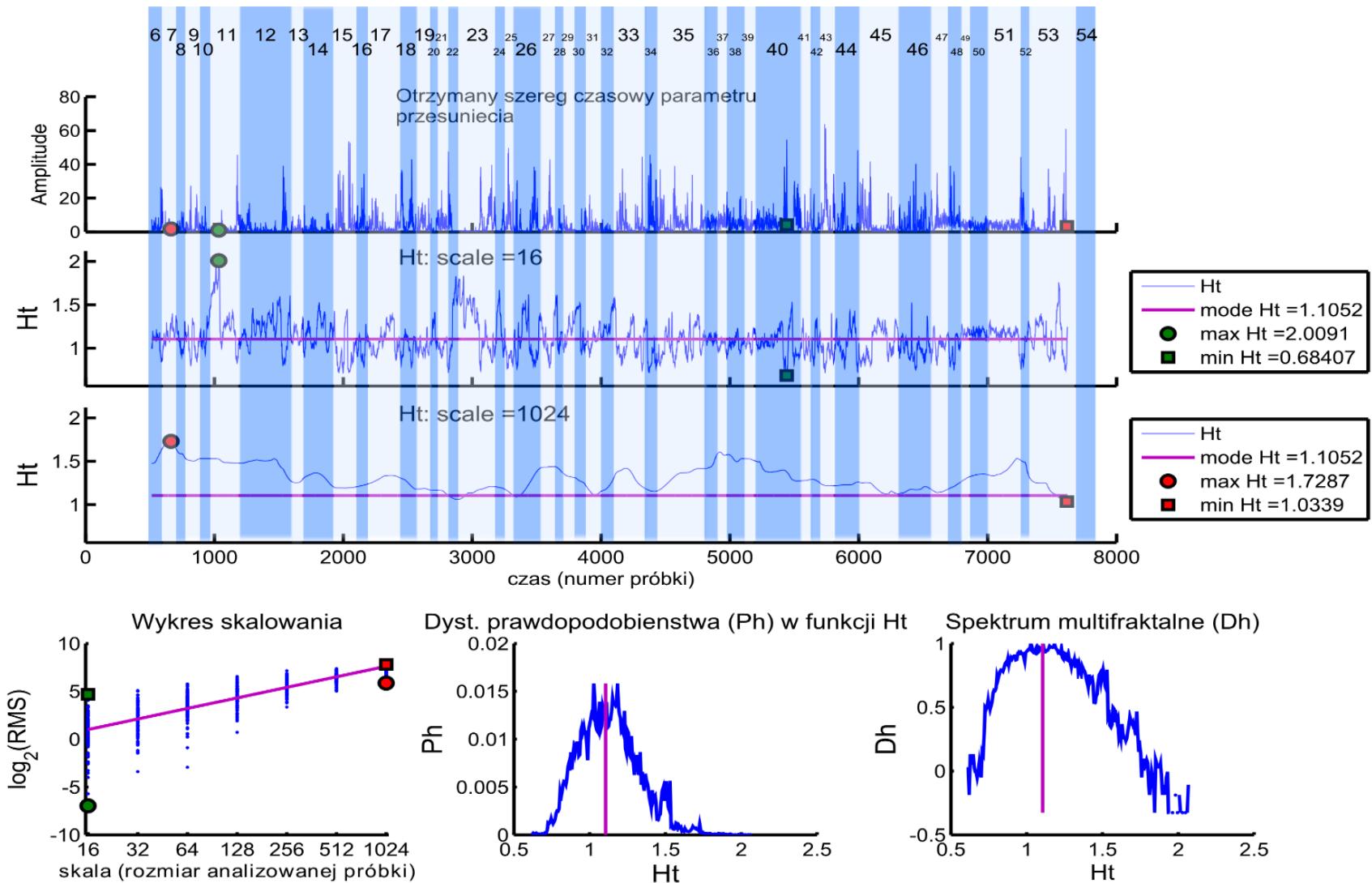
Scenariusz A3: odma pluca prawego

Osoba 1.



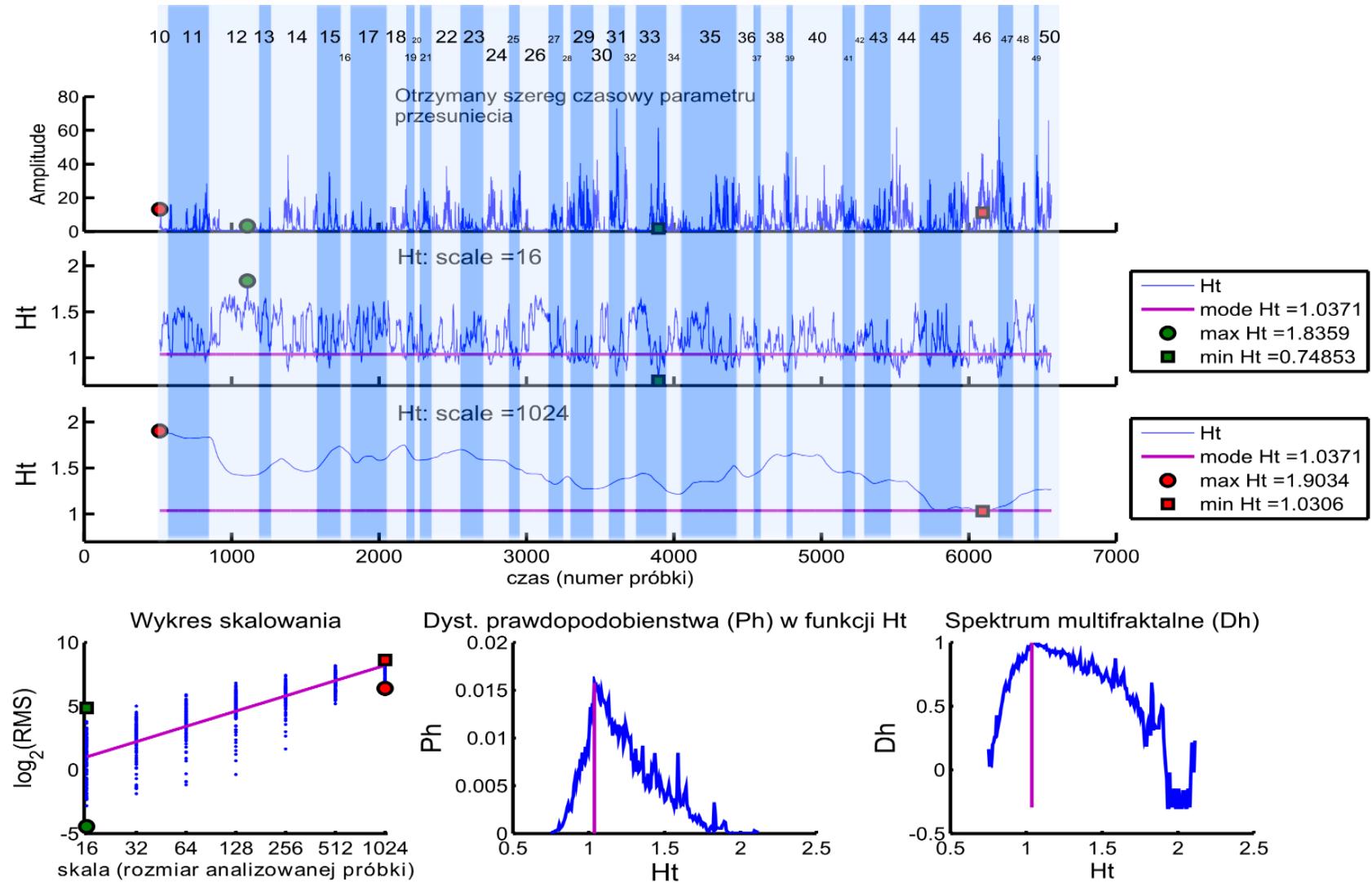
Scenariusz A3: odma płuca prawego

Osoba 2.



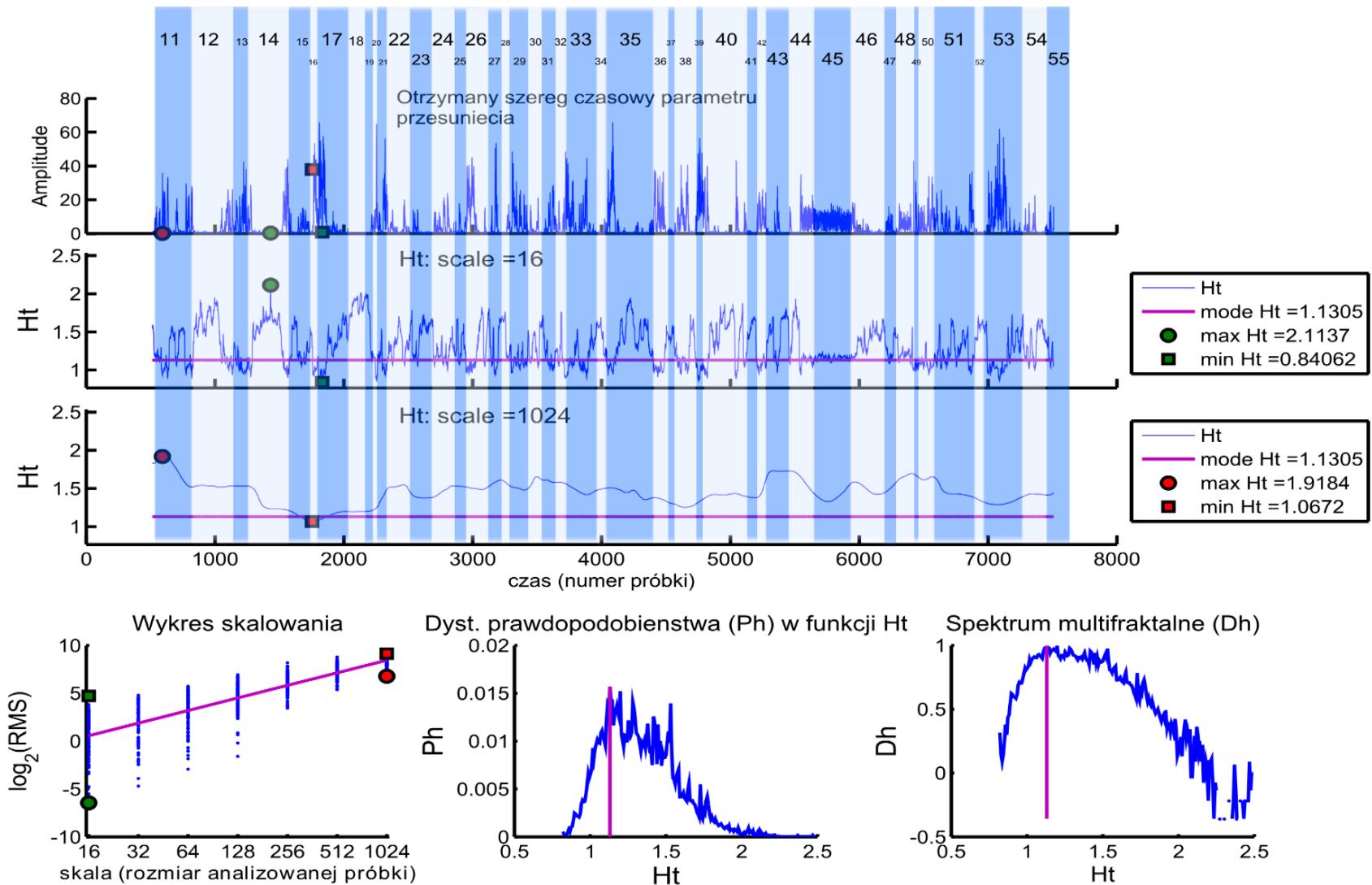
Scenariusz A3: odma płuca prawego

Osoba 3.



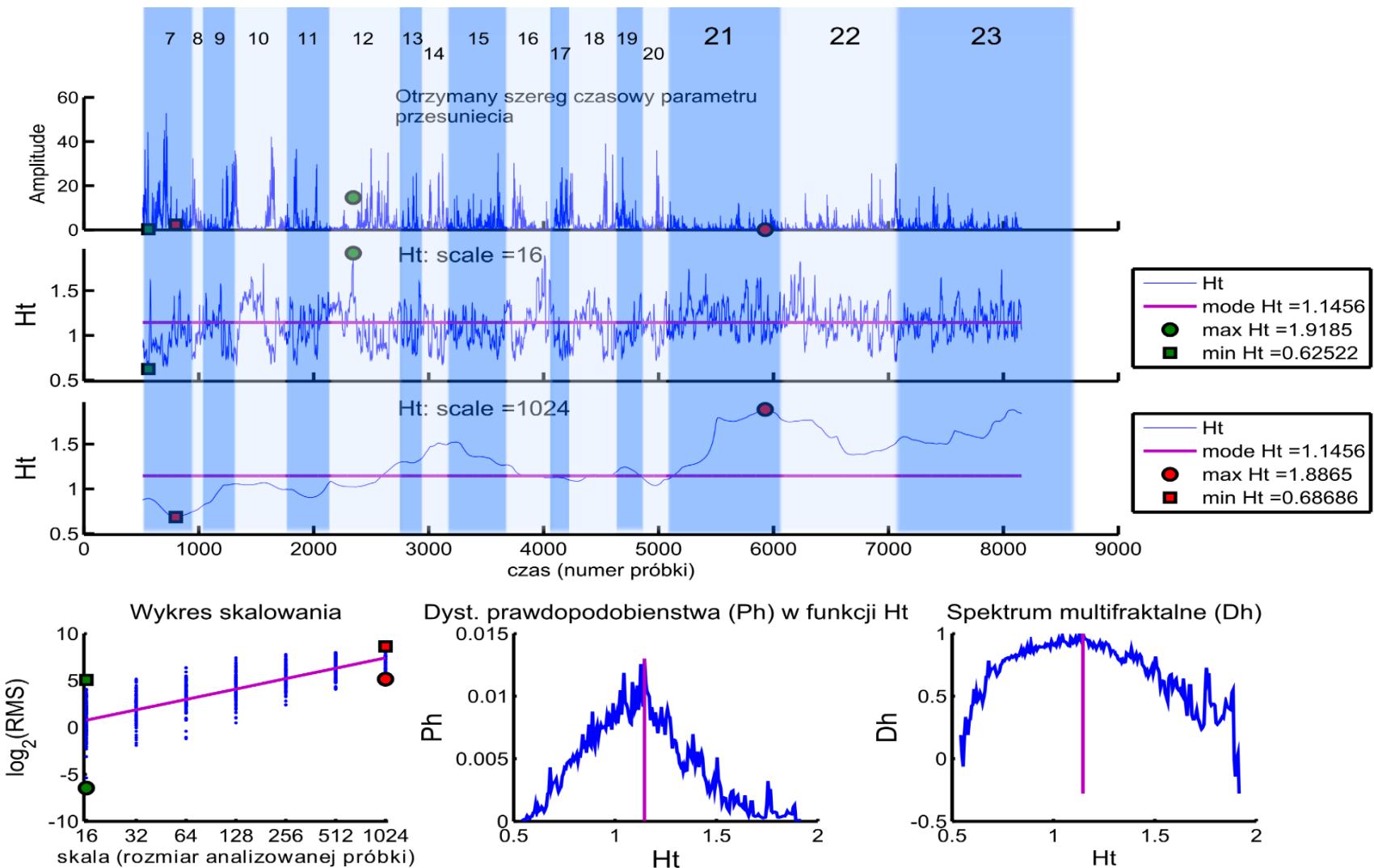
Scenariusz A3: odma płuca prawego

Osoba 4.



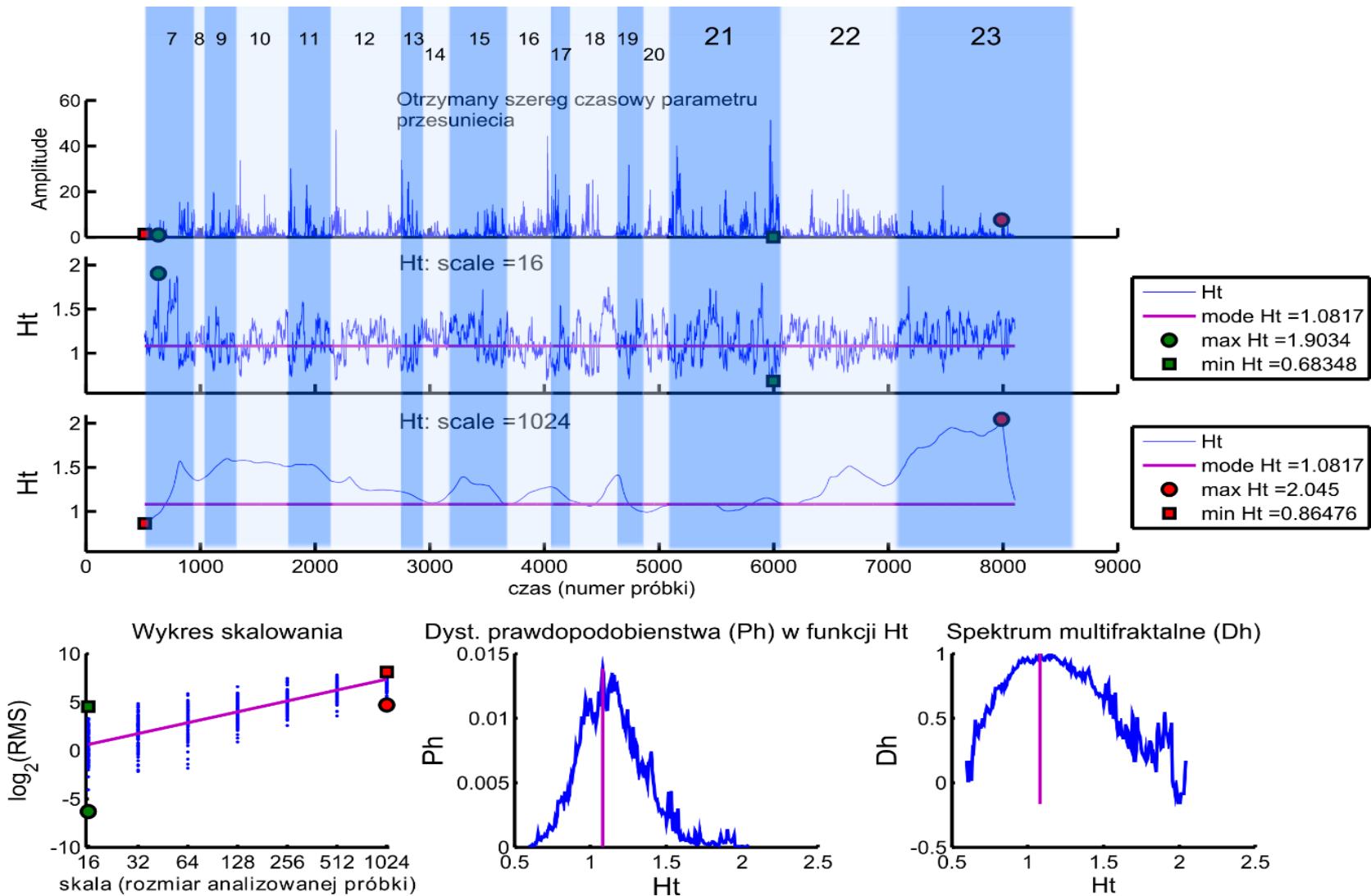
Scenariusz B1: ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Osoba 1.



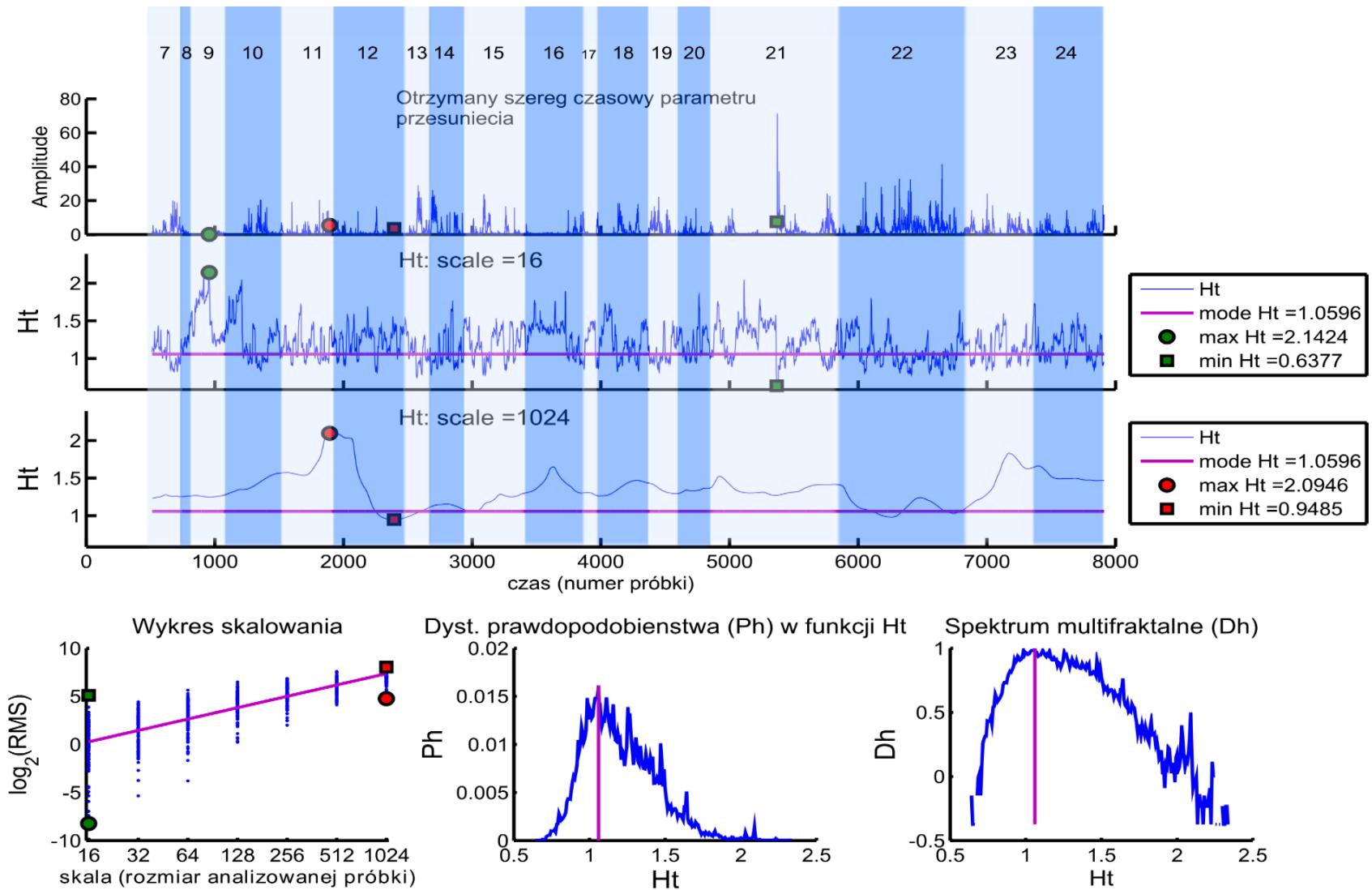
Scenariusz B1: ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Osoba 2.



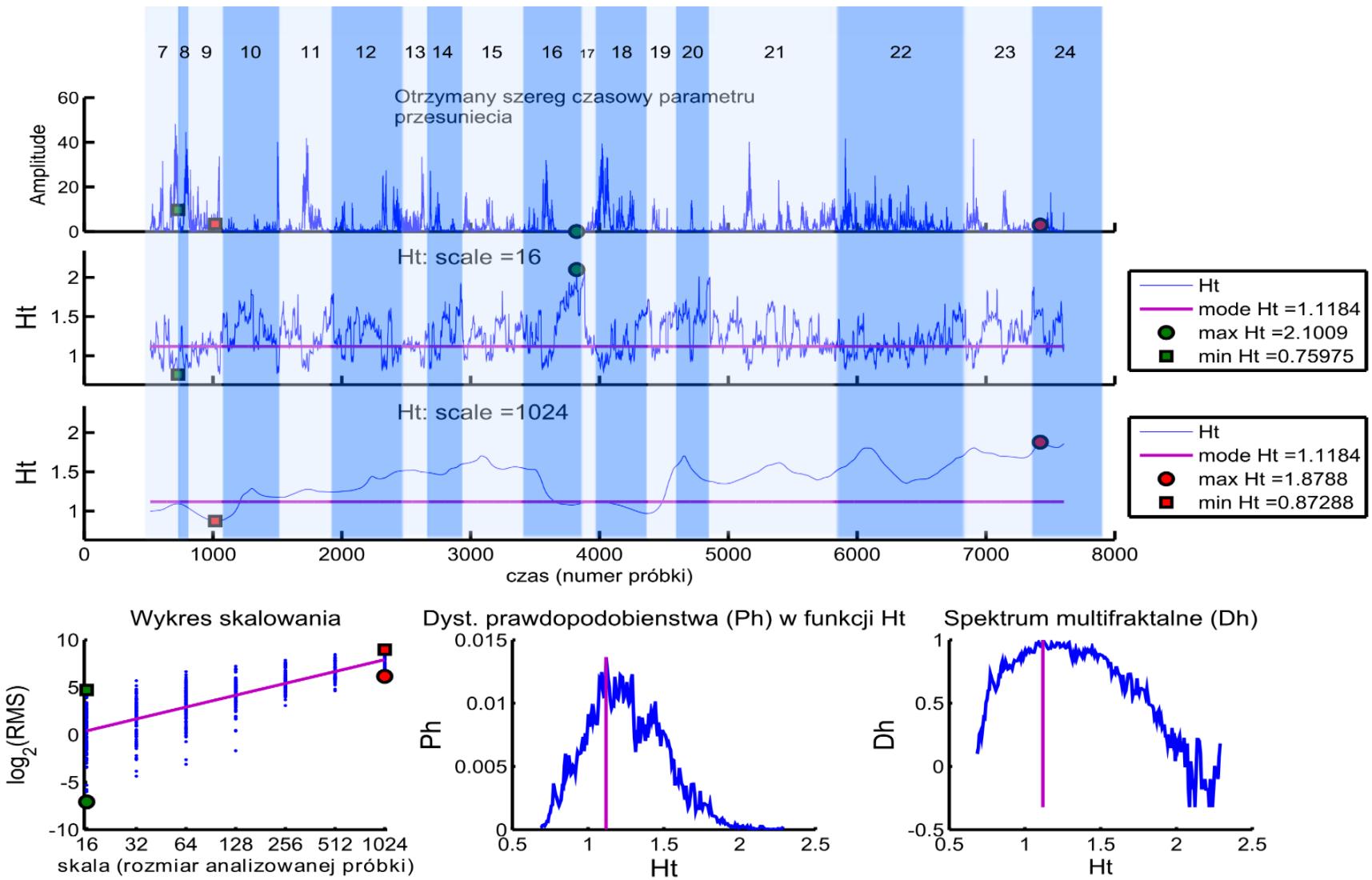
Scenariusz B1: ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Osoba 3.



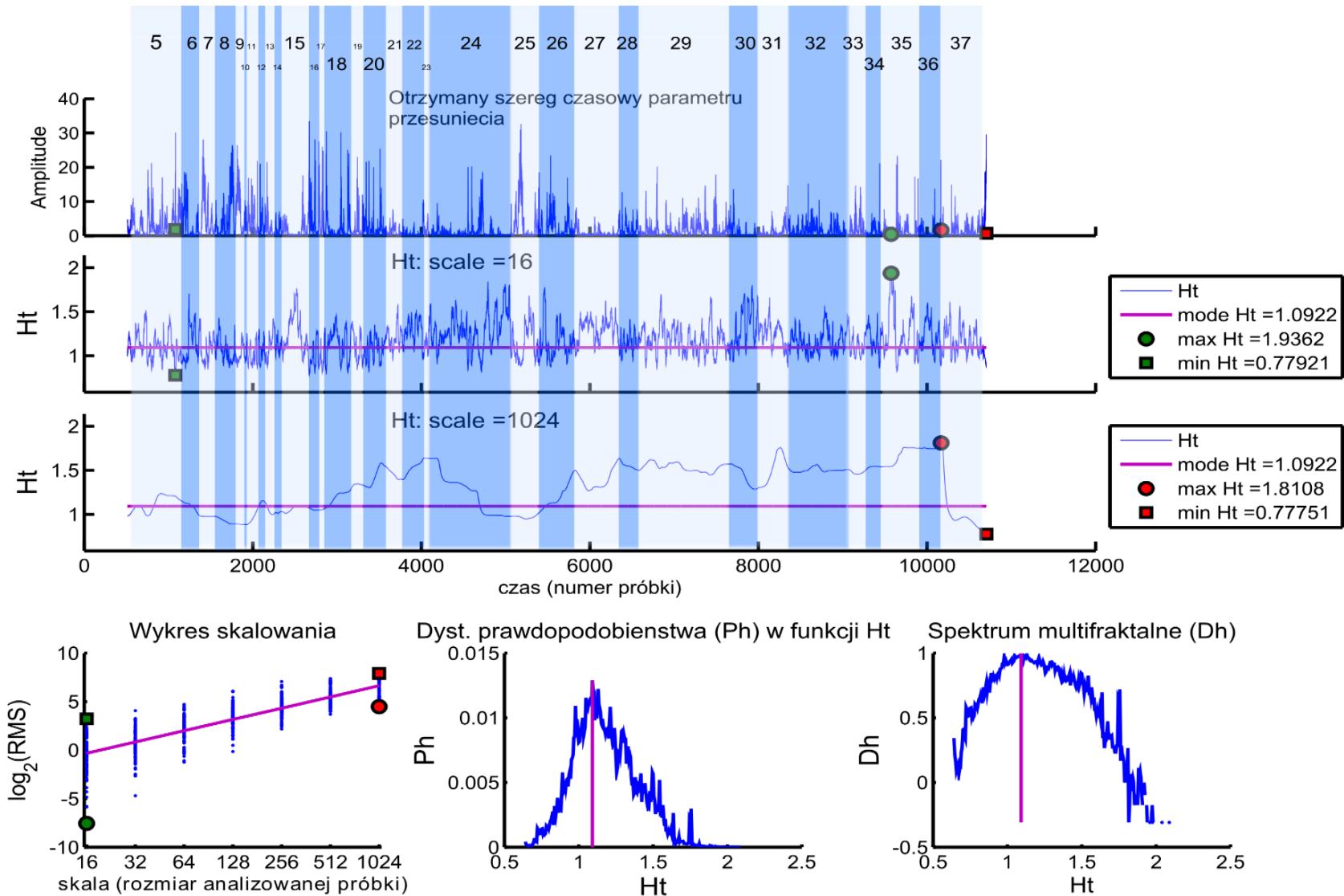
Scenariusz B1: ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Osoba 4.



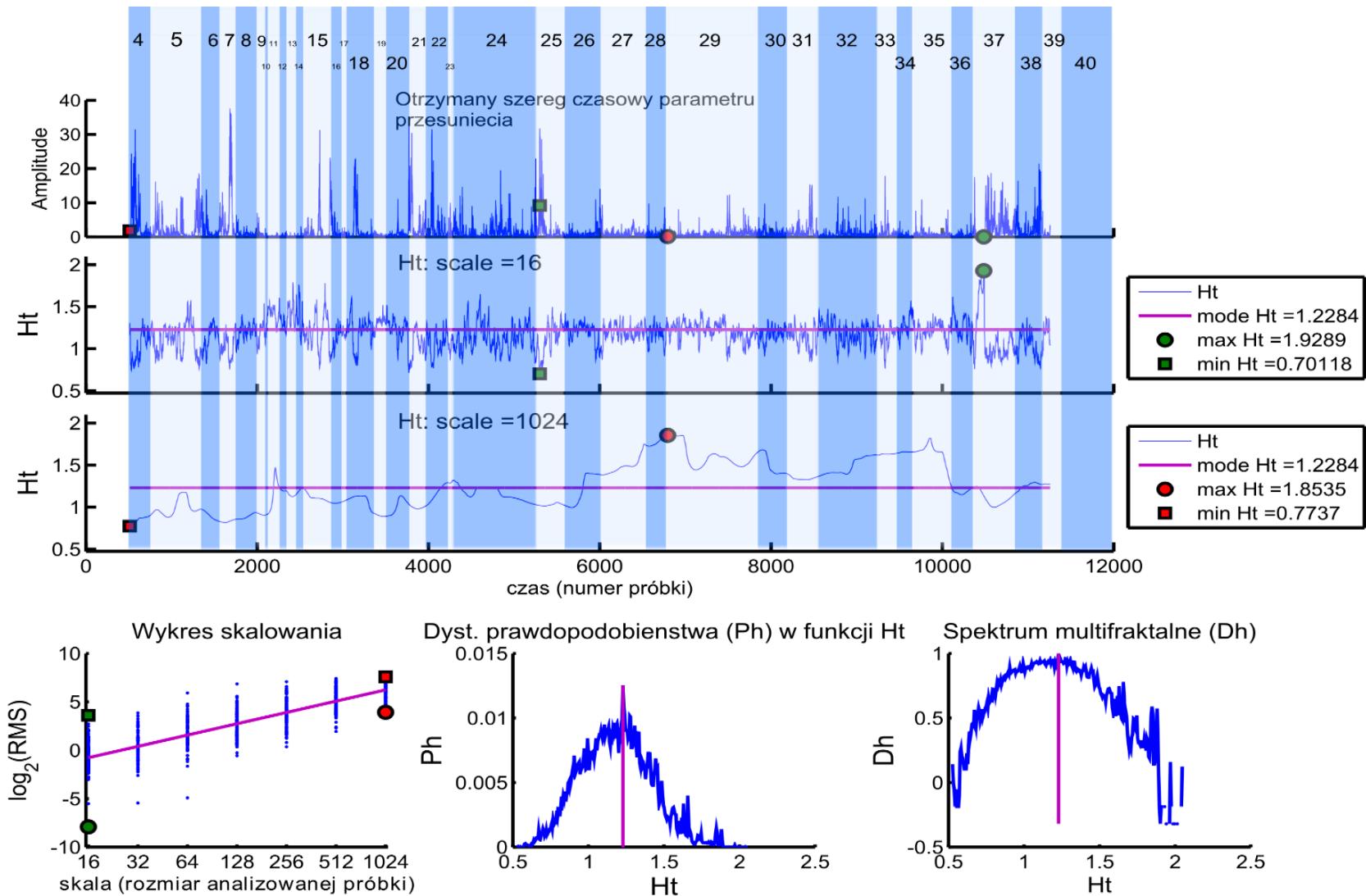
Scenariusz B2: Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii

Osoba 1



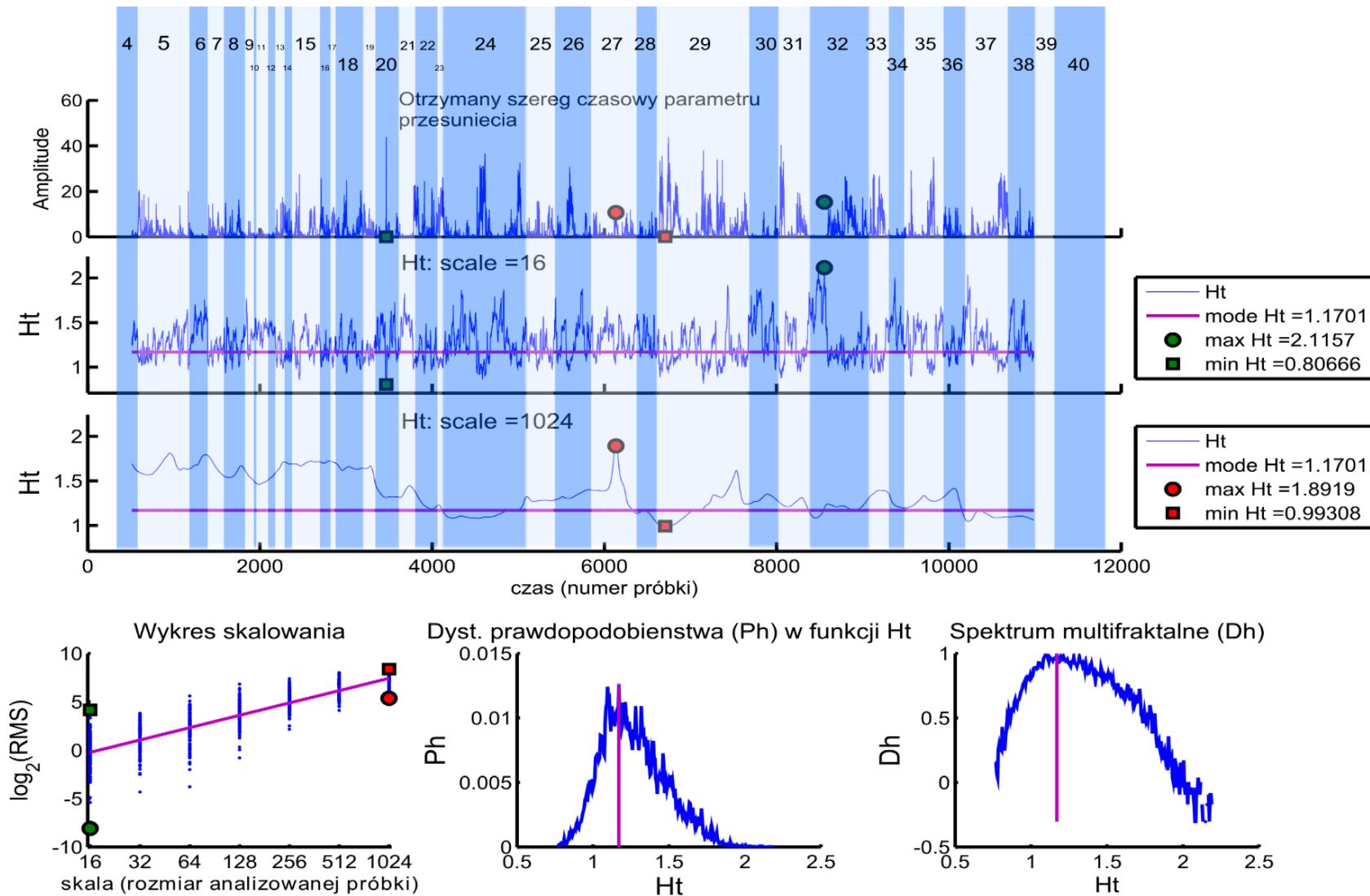
Scenariusz B2 - Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii,

Osoba 2



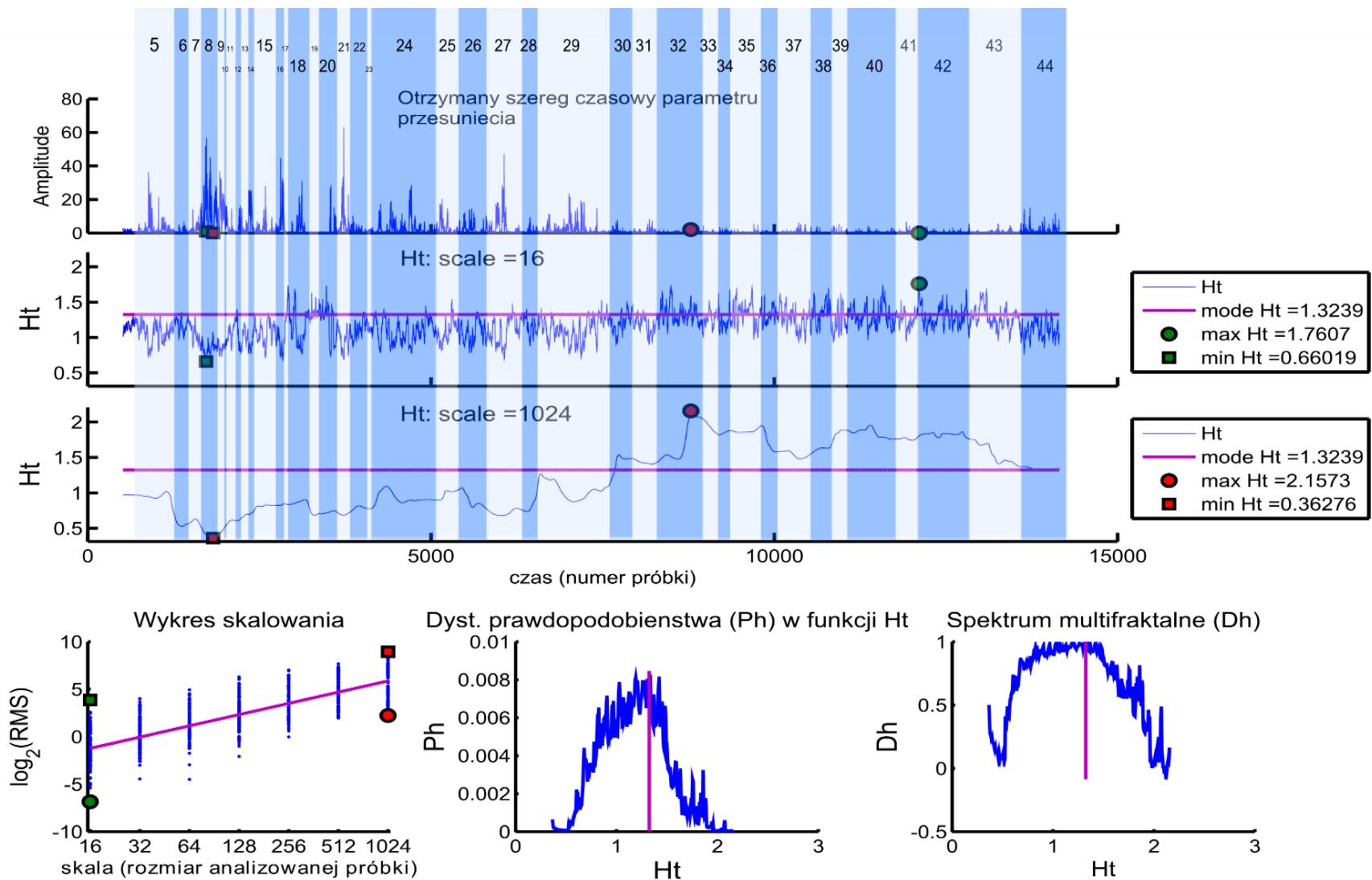
Scenariusz B2 - Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii,

Osoba 3



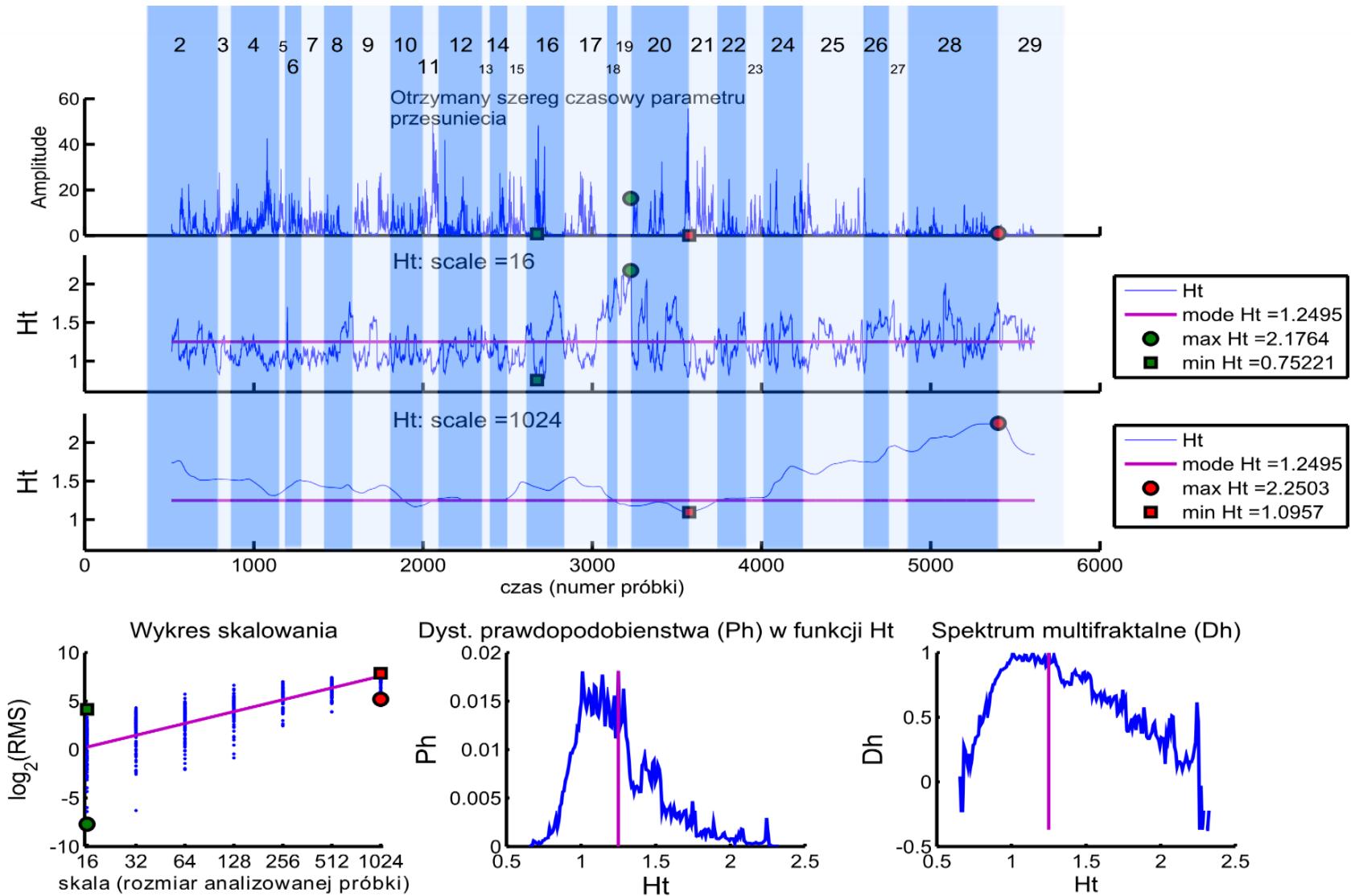
Scenariusz B2 - Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii,

Osoba 4



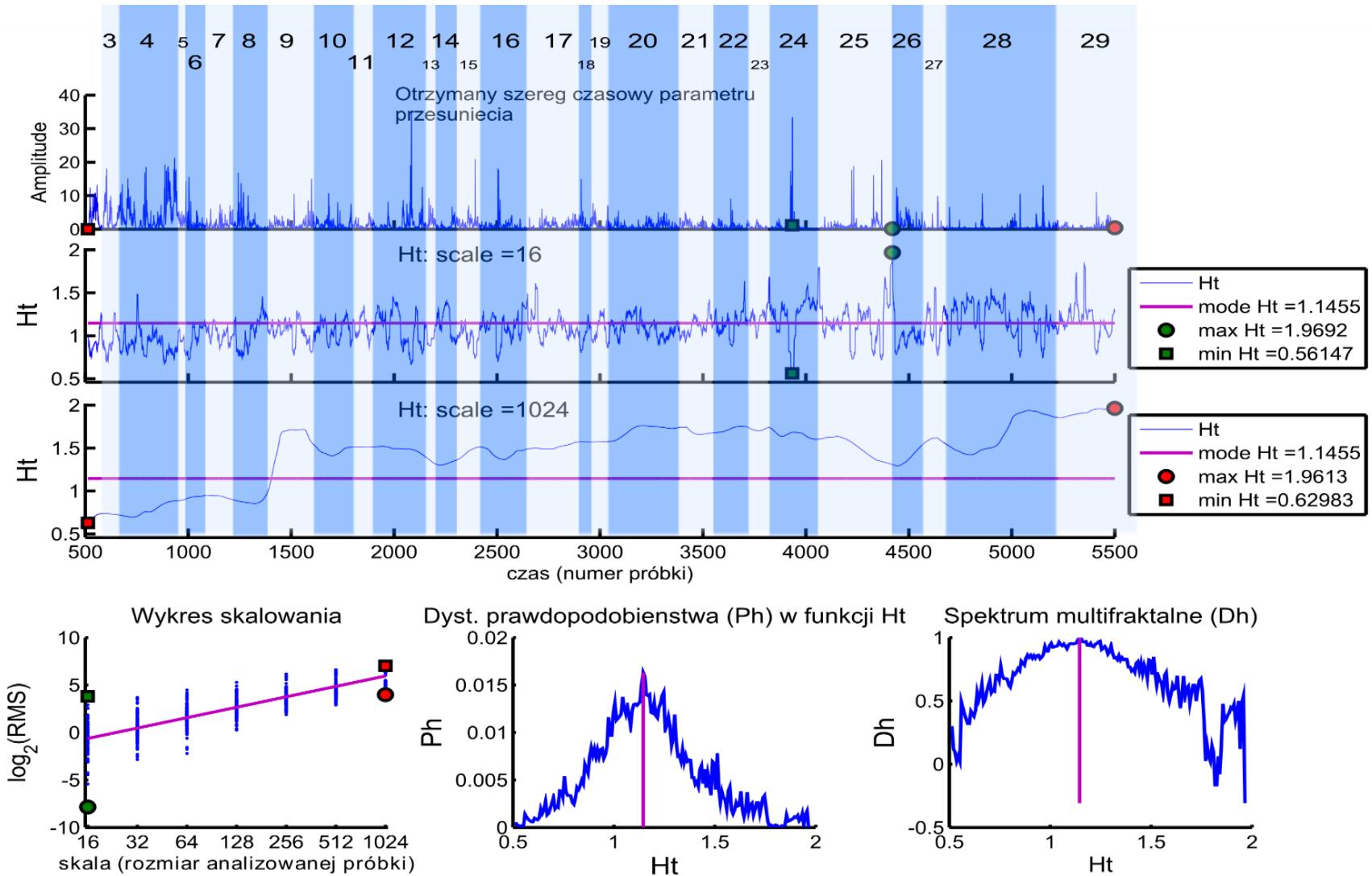
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krewotok zewnętrzny

Osoba 1



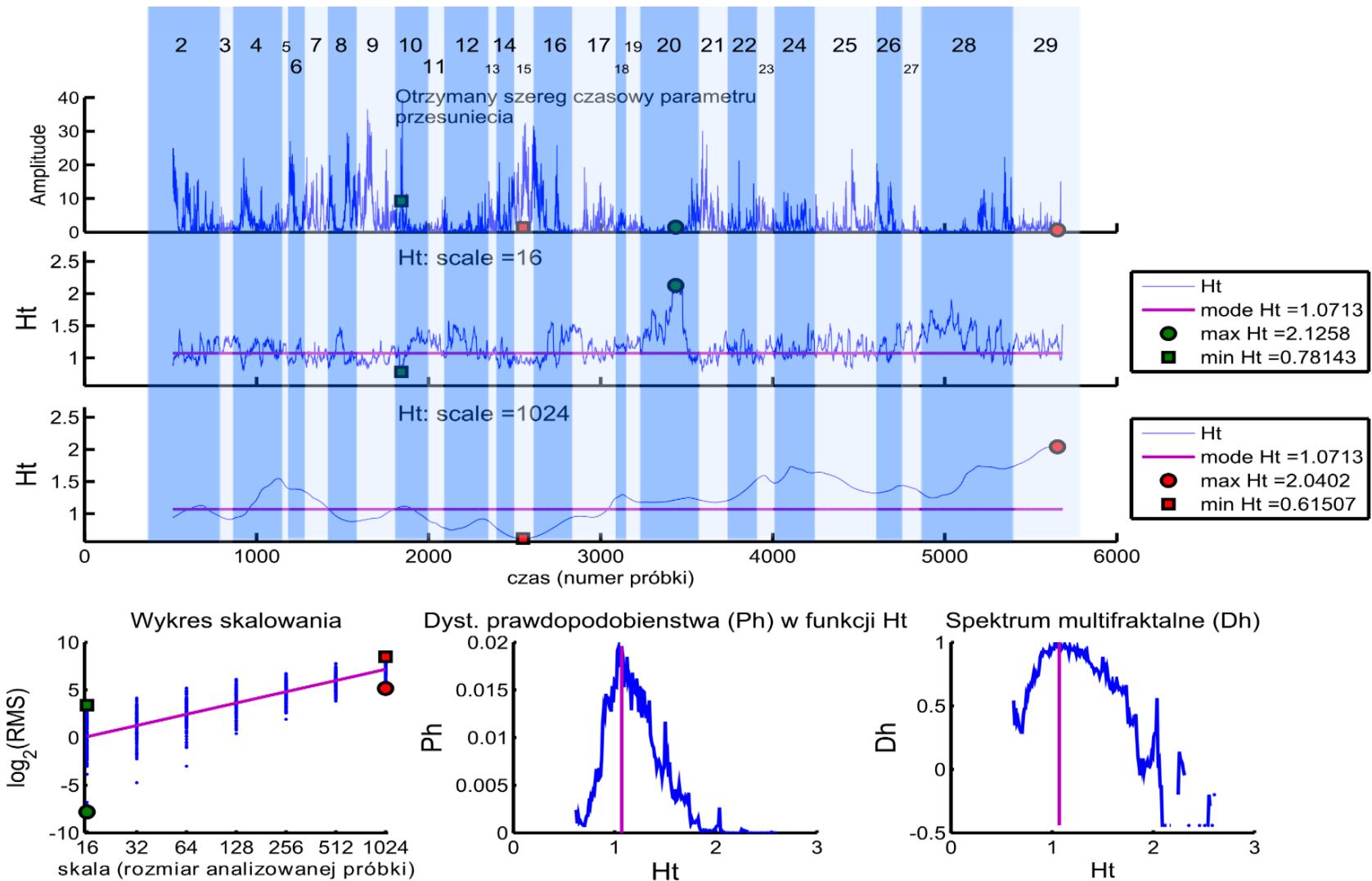
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 2



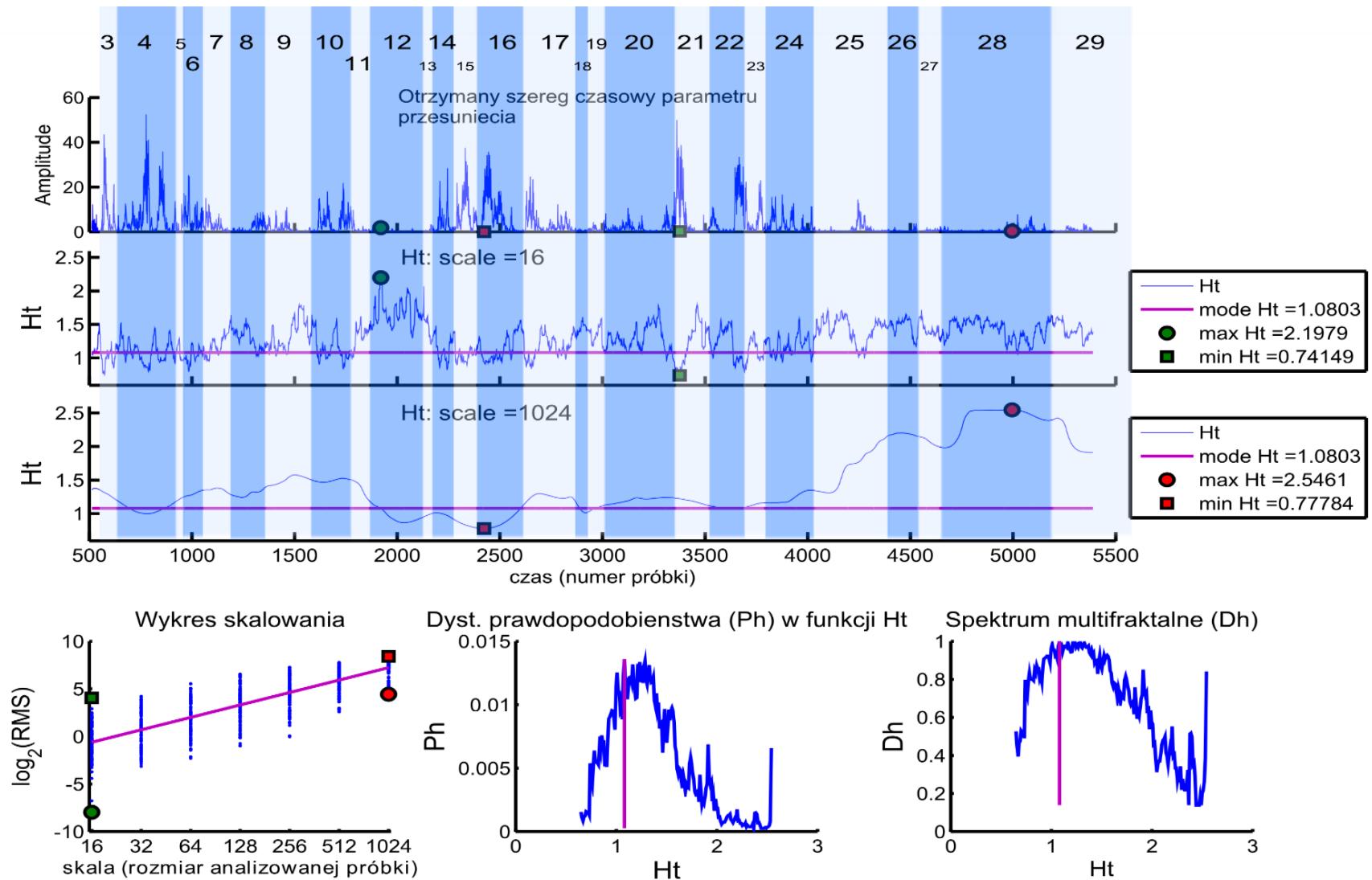
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 3



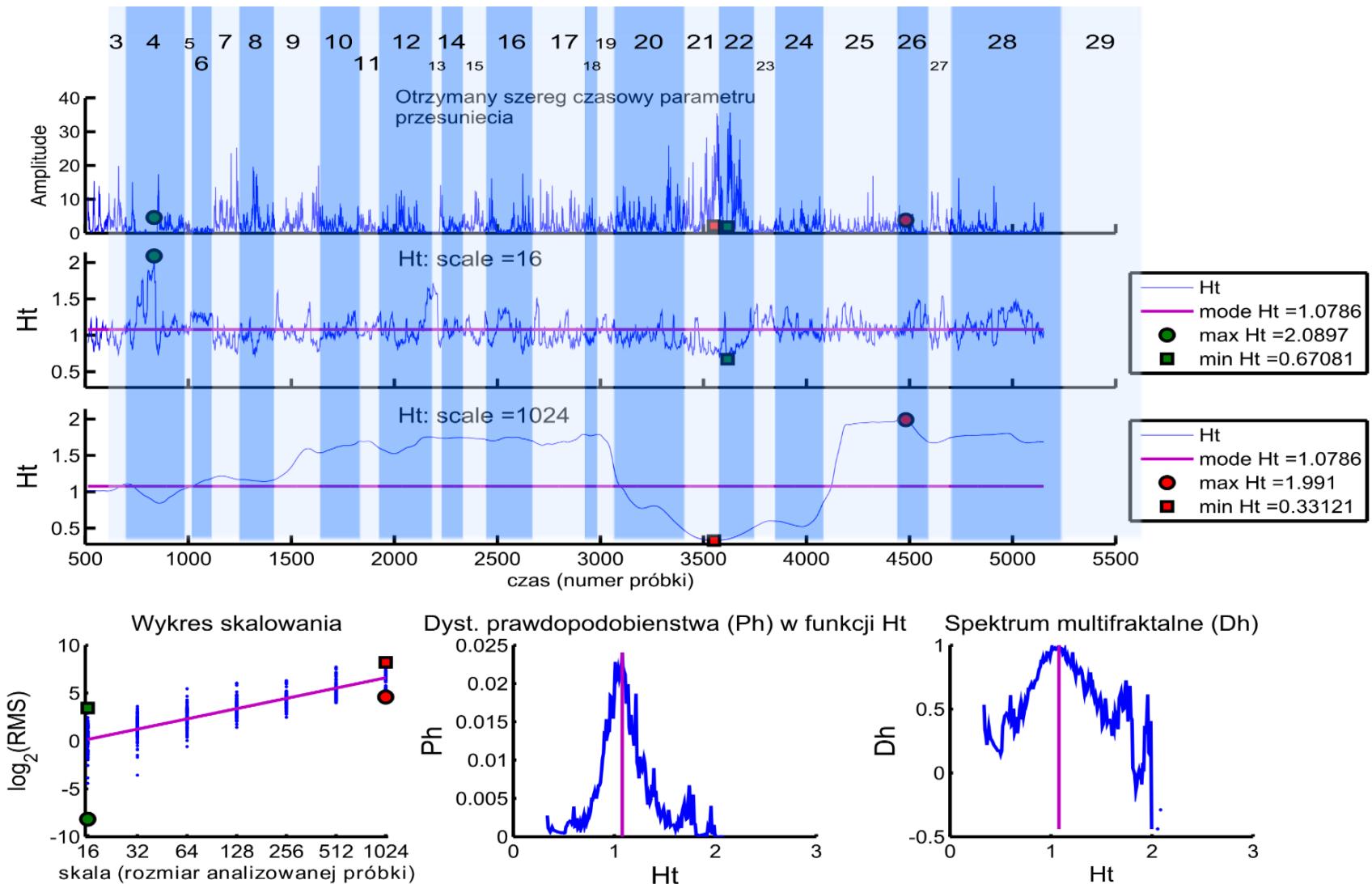
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 4



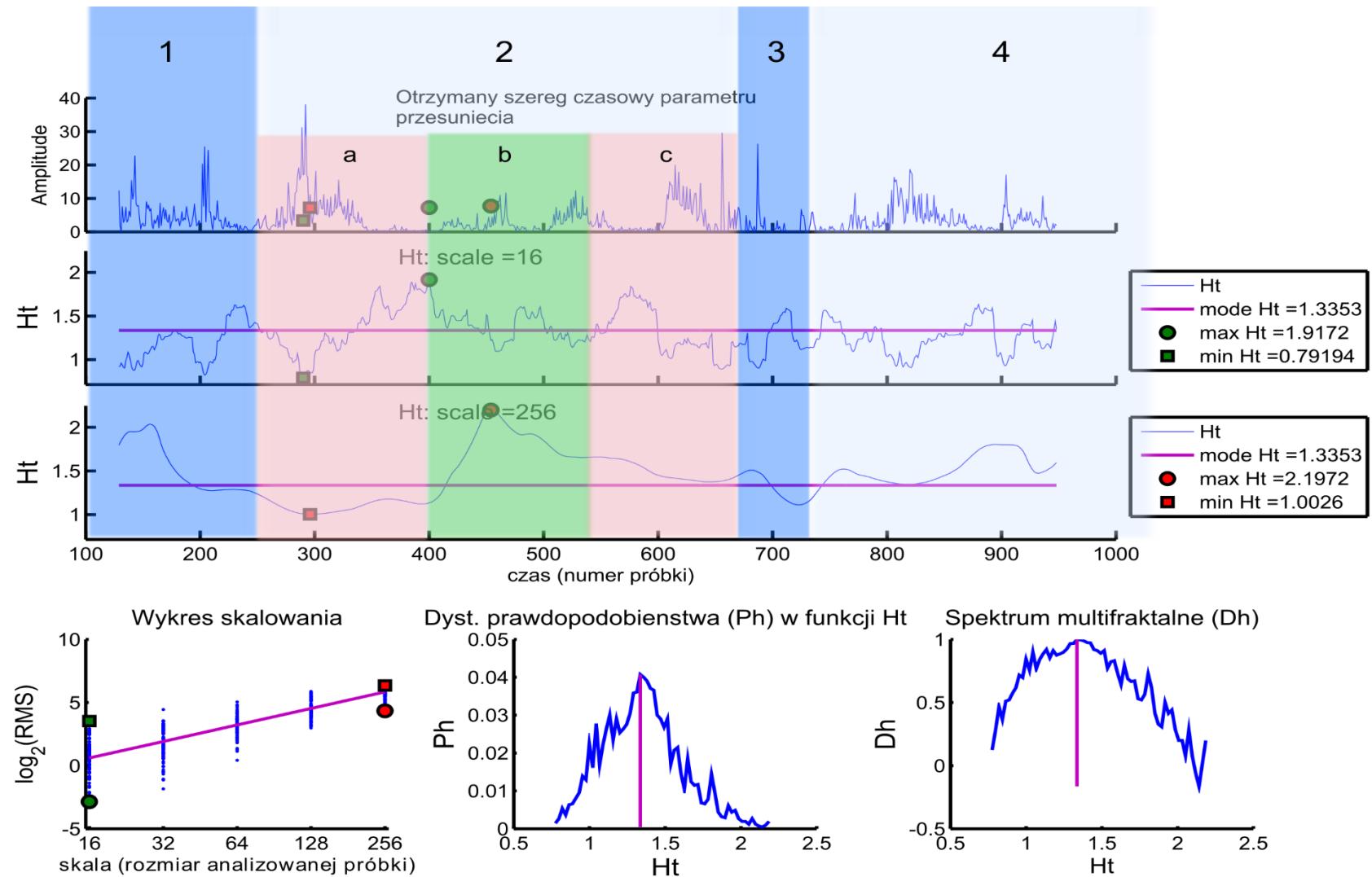
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 5



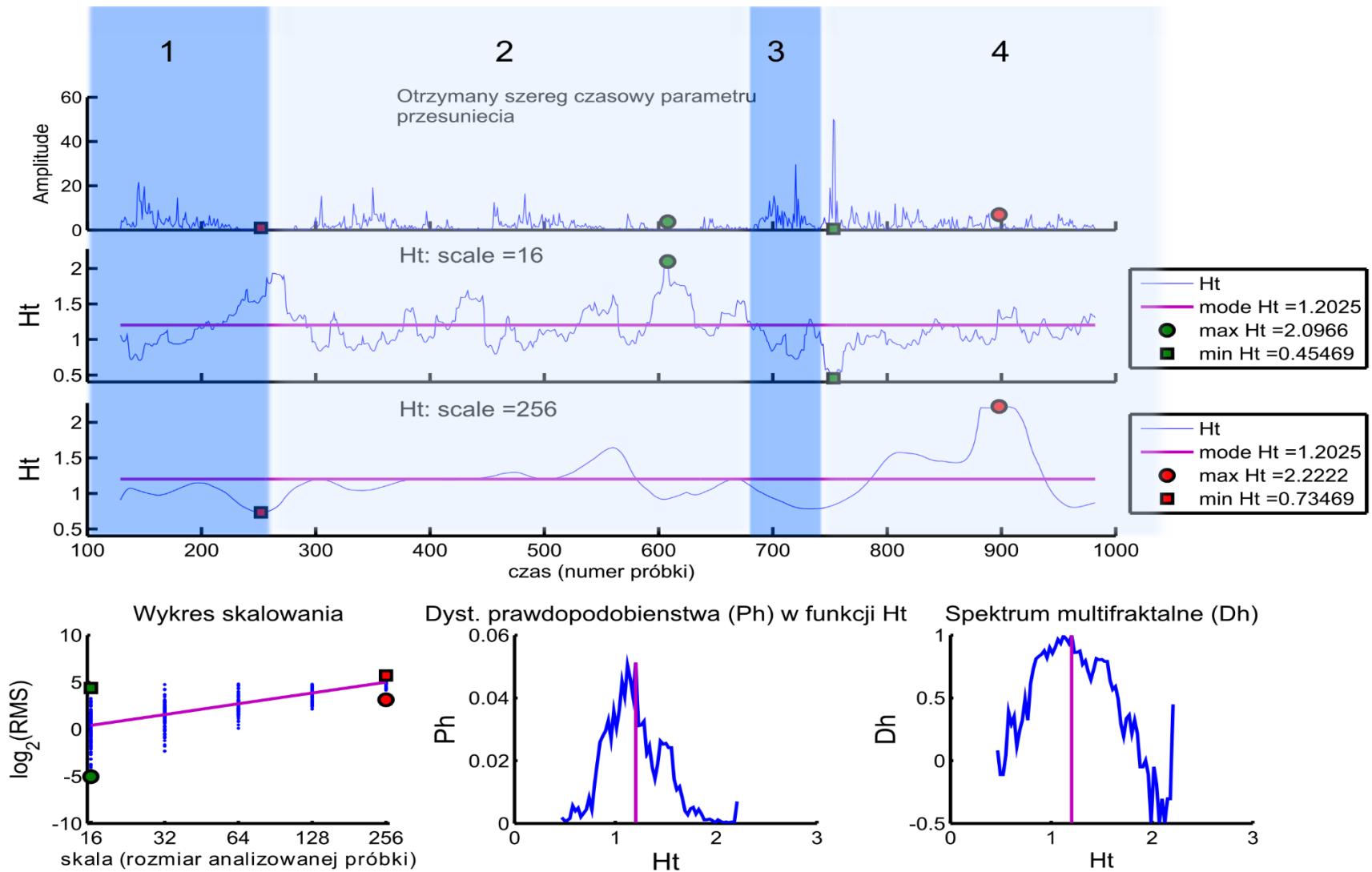
Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 6



Scenariusz B3: Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 7



Analiza szczegółowa otrzymanych wyników

Szczegółowa analiza otrzymanych danych opiera się na wykresach wygenerowanych powyżej, których charakterystykę przedstawiono szczegółowo w części teoretycznej, a krótko scharakteryzowano także w części empirycznej na początku rozdziału „[zastosowanie metody MFDFA do analizy szeregów czasowych parametru przesunięcia](#)”. W niniejszym punkcie dla każdego ze scenariuszy przeprowadzona zostanie próba powiązania zdarzeń obecnych w każdy z analizowanych scenariuszy, które zostały opisane w punkcie [Scenariusze badania – charakterystyka scenariuszy](#).

Niniejszy punkt został sporządzony jeszcze przed naniesieniem na sporzązone wykresy przedziałów zdarzeń w postaci prostokątów zakreślających odpowiadające przedziały czasu.

Scenariusz A1 – zatorowość płucna

Osoba 1

Osoba 1 zostaje wezwana na miejsce zdarzenia przez pielęgniarkę, zapoznaje się z sytuacją, która ma miejsce, w rozpoznaniu stanu utrudnia mu rodzina, która deklaruje, iż stan ten jest najprawdopodobniej spowodowany zatorem w płucach. Osoba 1 próbuje uspokoić rodzinę i pomóc pacjentce.

Po czasie odpowiadającym 954 próbkom (980 próbek zgodnie z opisem zdarzenia, a następnie odjęcie 26 próbek, które minęły od czasu pojawienie się Osoby 1 na miejscu zdarzenia) rodzina ponownie przeszkaźda w podejmowaniu czynności ratunkowych i wzajemnej komunikacji między lekarzami i pielęgniarką. W obszarze tym (954 próbki) na wykresie zmienności lokalnego wykładnika Hursta $H(t)$ zaobserwować można jego spadek.

Przypomnieć należy, za Espen A. I Ihlen²⁰ (rycina 6), iż obniżenie lokalnego wykładnika Hursta poniżej wartości 1 mówi o szumowym charakterze danego sygnału, bądź jego fragmentu. W przypadku wzrostu wartości lokalnego wykładnika Hursta charakter danego sygnału zmienia się w kierunku błędzenia losowego, aż po sygnał o charakterze ruchów Browna dla wartości $H(t) > 1.5$.

²⁰ Espen A. F. Ihlen, *Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab*, frontiers in physiology, 4 czerwca 2012.

W przypadku wspomnianego zdarzenia odpowiadającemu czasowi 954 próbki zaobserwować można spadek wartości lokalnego wykładnika Hursta w odpowiedzi na bodziec rozpraszający w postaci rodziny. Do czasu 1494 próbki lekarz odciągnął rodzinę od pacjentki umożliwiając pozostały jej analizę, następnie po tym czasie poleca Osobie 2 zebrać dalszy wywiad o pacjentce, z kolei sam przystępuje do akcji ratowniczej. Widoczne jest to na wykresie w postaci podwyższenie lokalnej wartości wykładnika Hursta. Jednocześnie po czasie odpowiadającym 1749 próbkom zauważać można jej spadek. Jest to związane z wydarzeniem nr **6**, które związane jest z interferencją rodziny w działania lekarzy.

Po stwierdzeniu poprawności w zapisie EKG w czasie 2314 próbek ratownik zaczyna zastanawiać się nad dalszymi, możliwymi przyczynami złego stanu pacjentki. Lokalny wykładnik Hursta wzrasta począwszy od tego momentu. Kolejnym zdarzeniem jest utrata przytomności przez pacjentkę w czasie 8 minut 55 sekund (próbka 2649) – zdarzenie 8. Reakcja lekarza (os.1) jest spokojna, przystępuje on do osłuchiwania klatki piersiowej pacjentki. Dalej pada decyzja o założeniu maski krtaniowej i wentylacji – lokalny wykładnik Hursta nadal utrzymuje swą wartość, w przybliżeniu równą $H(t) = 2,5$, powyżej wartości modalnej, wartości najbardziej prawdopodobniej, która widnieje na wykresie dystrybucji prawdopodobieństwa. W następnej kolejności ratownicy dostają informację o podwyższonych D-dimerach (próbka 3224), co potwierdza ich przypuszczenia o obecności zatorowości płucnej. W tym momencie lokalny wykładnik Hursta osiąga swą maksymalną wartość $H(t) = 2,5935$.

W dalszej kolejności, po 50 sekundach ratujący decydują się zatelefonować do zakładu diagnostyki obrazowej (próbka 3474), celem wykonania Tomografii Komputerowej z podejrzeniem zatorowości płucnej, jednak po dalszych konsultacjach między ratującymi, biorąc pod uwagę ciężki stan pacjentki i braku środków fibrynowacyjnych na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym, zdecydowano o zatelefonowaniu do oddziału kardiologii (próbka 3999), którzy dalej przejmą pacjentkę. Akcja ratowników w tym okresie jest mniej chaotyczna, wyniki badań, badanie oglądowe pacjentki oraz badanie EKG potwierdzają ich przypuszczenia o zatorowości płucnej i braku możliwości dalszego kontynuowania akcji ratowniczej na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym (SOR), dlatego oddają pacjenta na oddział kardiologii. W okresie tym lokalny wykładnik Hursta nadal utrzymuje się wartość w okolicach $H(t) = 2$.

Osoba 2

Pielęgniarka (os.2) jest na miejscu od początku zdarzenia, do czasu odpowiadającemu próbce 1520, kiedy to zostaje oddelegowana przez lekarza, kierownika SORu (Os.1) do zebrania wywiadu z rodziną. Na początku scenariusza wzywa lekarza (Os.1), próbuje także przekonać rodzinę do opuszczenia sali i nieprzeszkadzania lekarzowi wykonującemu swe obowiązki. W trakcie, gdy lekarz (os.1.) przeprowadza wywiad z pacjentką, pielęgniarka asystuje mu przy wkłuciu dożylnym w obu dołach łokciowych. Wszystkie te zdarzenia powodują utrzymywanie się lokalnego wykładowca Hursta na niskim poziomie, który oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) *mode H(t) = 1.1983*.

Po czasie 1520 próbek, gdzie Os.2 zostaje wyznaczona do dalszego zebrania wywiadu z rodziną lokalny wykładowca Hursta od momentu próbki 1775 rośnie do wartości maksymalnej dla tego szeregu $H(t) = 2.4257$. W tym czasie pielęgniarka stara się zebrać wywiad dotyczący danej pacjentki, uspokaja rodzinę i polecam im, by nie przeszkadzały w wykonywaniu obowiązków lekarzy, a także, by usiadły i czekały na informacje zwrotną od zespołu. Wykładowca Hursta utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 2,0$.

Kolejnym istotnym momentem w scenariuszu, dla pielęgniarki (Os.2), jest utrata kontaktu z pacjentką w czasie 3000 próbek. Pielęgniarka asystuje lekarzom w podawaniu morfiny dożylnie, jednak pacjentka nadal nie odpowiada. Kolor jej skóry pobladł, jest nieresponsywna nawet na bodźce mechaniczne. Pielęgniarka obserwuje sytuację, czekając na polecenia lekarzy. Pomaga lekarzowi (Os.4) w założeniu maski krtaniowej, po czym, w przypadku braku dalszych poleceń, czeka na rozwój sytuacji. Objawia się to spadkiem lokalnego wykładowca Hursta w skutek wspomnianych wyżej zdarzeń.

W czasie równym 3800 próbek pielęgniarka (Os.2) zostaje oddelegowana do dalszego zbierania wywiadu od rodziny, celem otrzymania informacji o pacjencie, czy przebyła ona w niedalekiej przeszłości jakieś zabiegi bądź operacje. Objawia się to na wykresie zmienności lokalnego wykładowca Hursta jego wzrostem nieznacznym wzrostem, po czym następuje spadek do poziomu, przed tegą zdarzeniem, a równym okresowi, gdy pielęgniarka czeka na polecenia lekarzy wykonujących akcję ratunkową.

Osoba 3

Lekarz (Os.3) pojawia się na sali ratunkowej wezwany przez Os.1, w pierwszej kolejności dowiaduje się od niego o specyfice danej sytuacji oraz sytuacji pacjentki. Na sali nadal znajduje się rodzina, która utrudnia wykonywanie oraz podjęcie przemyślanych kroków w celu diagnozy pacjentki. Po upłynięciu pewnego czasu, w którym to Os.3 przejmuje dowodzenie i odpowiedzialność za wykonywane czynności, oraz Os.2 zbiera wywiad odnośnie pacjentki od rodziny i uspokaja ją, poleca by ta usiadła i czekała na informację od zespołu, wartość lokalnego wykładownika Hursta wzrasta z minimum do maksimum. Wartość minimum w czasie 800 próbek (odpowiada to zdarzeniu 800 próbek + 715 próbek, związanym z późnym wezwaniem Os.3 na salę) $H_{min}(t) = 1.3693$, co związane jest z przeszkadzaniem rodziny w podejmowaniu czynności, do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2.3068$ w czasie 1200 próbek, w którym to rodzina zostaje odciagnięta od wykonujących ćwiczenie przez Os.1 a następnie kontakt z nią przejmuje Os.2. Objawia się to wspomnianym wzrostem lokalnego wykładownika Hursta. W momencie w okolicy 1350 próbki można zaobserwować spadek $H(t)$ do wartości około $H(t) \approx 1,5$ co występuje w momencie analizy pacjentki przez Os.2, która przy badaniu fizyczelnym wątroby krzyczy z bólu, wątroba jest powiększona, wystaje z łuku żebrowego. Następnie następuje próba porozumienia się z pacjentką, celem ustalenia, czy występują u niej uczulenie aspirynę oraz ponowna ocena sprawdzająca badania EKG przez Os.3.

W czasie równym 2000 próbkom, po sprawdzeniu wyniku badania EKG, Os.3 wykonuje telefon do Laboratorium, by dowiedzieć się, kiedy wyniki badania będą gotowe. Os.3 zostaje poinformowana, iż na wyniki musi jeszcze poczekać kilka minut. Lokalny wykładownik Hursta w tym momencie utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,5$ do momentu 2300 próbki, w którym pacjentka traci przytomność. W tej samej chwili Os.3 odbiera jednak telefon z laboratorium, który stwierdza podwyższenie D-Dimerów, co ugruntowuje podejrzenie o zatorowości płucnej pacjentki. Lokalna wartość wykładownika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 2,0$. W dalszej kolejności Os.3 telefony do Zakładu Diagnostyki Obrazowej celem wykonania Tomografii Komputerowej w kierunku podejrzenia zatorowości płucnej.

Wartość $H(t)$ następnie spada do wartości $H(t) \approx 1,6$. W tym momencie lekarze mają wątpliwości, czy odsyłanie pacjentki na diagnostykę jest wskazane, jeśli pacjentka znajduje się w ciężkim stanie. Po chwili, gdzie stwierdza się brak środków fibrynolitycznych na Szpitalnym

Oddziałe Ratunkowym, Os.3 telefonuje do oddziału kardiologicznego, który decyduje się przyjąć pacjentkę.

Osoba 4

Osoba 4 jest lekarzem, który zostaje wezwany na miejsce zdarzenia przez lekarza (Os.1) wraz z osobą 3. Po przybyciu na salę zapoznaje się z sytuacją, w tym samym czasie spotyka się z zakłócającym działaniem rodziną. Podłącza pacjentkę do pulsoksymetru, zamawia badanie EKG.

Zapomina o pobraniu krwi pacjentki, o czym przypomina mu Os.3. w momencie 1000 próbek, spotyka się z krytyką rodziny, która kwestionuje umiejętności lekarzy wykonujących akcję ratowniczą. W dalszej kolejności pobiera krew pacjentki i wypełnia kwestionariusz laboratoryjny, który dostarcza do badania. Następnie porządkuje zestaw, który wykorzystał do pobrania próbki krwi do momentu 2000 próbki, gdzie $H(t)$ utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,35$. W okresie od 2000 do 2500 próbki Os.4 podaje pacjentce morfinę dożylnie oraz rozważa podanie β -blokera. W okresie tym następuje wzrost $H(t)$ do wartości $H(t) \approx 2,0$.

Od tego momentu Os.4 decyduje się na założenie maski krtaniowej pacjentce, jednak ma problem z jej przygotowaniem, gdzie pielęgniarka (Os.2) pomaga w jej przygotowaniu. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,20$. Os.4 po założeniu maski krtaniowej zaczyna wentylację pacjentki od momentu odpowiadającego próbce 2700, w trakcie gdy Os.3 wykonuje wspomniane wcześniej telefony do Zakładu Diagnostyki Obrazowej oraz Oddziału Kardiologii, stwierdza jednak ciężki stan pacjentki i sugeruje podanie środków fibrynolitycznych, jednocześnie do końca scenariusza wentyluje pacjentkę. Lokalny wykładnik Hursta $H(t)$ dla tego okresu osiąga swą maksymalną wartość $H(t) \approx 3,9836$.

Osoba 5

Osoba 5, to członek rodziny pacjentki, która w największy sposób przeszkadza lekarzom i pielęgniарce w wykonywaniu podejmowanych czynności. Od początku akcji ratowniczej lokalny wykładnik Hursta nie ma charakteru błądzenia losowego, a charakter szumu, gdzie wartości $H(t) \approx 0,5$. Os.5 i Os.6 (rodzina pacjentki) zostają poproszone o odsunięcie się od pacjentki, o nieprzeszkadzanie zespołowi SORu, oraz o zajęcie miejsca siedzącego. Od 980 obie Os.5 oraz Os.6 ponownie przeszkadzają w podejmowaniu czynności przez ratowników, wtedy

to lokalny wykładnik Hursta osiąga wartości $H(t) \approx 0,2$ oraz wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,023966$, która odpowiada antykorelacji zgodnie z definicją wykładnika Hursta.

W momencie, w którym Os.1 odciąga rodzinę od pacjentki, próbuje ją uspokoić oraz zebrać wywiad, lokalny wykładnik Hursta zmienia swą wartość od tego momentu (1350 próbka) i przyjmuje wartość $H(t) \approx 2$. W momencie od 1800 próbki rodzina wyraża swe niezadowolenie, iż zapomniano o pobraniu krwi do badania, Os.5 wyraża swe niezadowolenie i kwestionuje postawę lekarzy. W momencie tym można zauważyc spadek lokalnej wartości wykładnika Hursta do wartości najbardziej prawdopodobniej, wynoszącej $H(t) = 1,267$. Po czasie odpowiadającym wartości pielęgniarka kończy zbierać wywiad na temat pacjentki z rodziną, która zostaje zobligowana do zabrania miejsca w korytarzu i wyczekiwania na informację pochodząą od lekarzy. Wykładnik Hursta w danym momencie rośnie i osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,4045$. W dalszej kolejności rodzina nie przeszkaźda w wykonywaniu czynności lekarzy i pielęgniarki a wartość wykładnika Hursta wynosi $H(t) \approx 1,9$

Osoba 6

W przypadku drugiej osoby z rodziny pacjentki, wykres zmienności lokalnego wykładnika Hursta jest bardzo podobny do przypadku osoby 5. Na początku danego scenariusza lokalna wartość wykładnika Hursta chwilowo rośnie od wartości $H(t) \approx 1$ do wartości $H(t) \approx 1,2$, co odpowiada sytuacji, w której zespół nie przystąpił jeszcze do pracy, gdzie Os.1 wzywa telefonicznie resztę zespołu.

W momencie od 109s (próbki od 545) rodzina, w tym Os.6 zaczyna przeszkaźać zespołowi wykonującemu zadania ratownicze kilkakrotnie. Wartość lokalnego wykładnika Hursta maleje liniowo, aż do osiągnięcia wartości minimalnej $H_{min}(t) = 0,70278$. W momencie, w którym Os.1 odciąga rodzinę od pacjentki, próbuje ją uspokoić oraz zebrać wywiad, lokalny wykładnik Hursta zmienia swą wartość od tego momentu (1350 próbka) i przyjmuje wartość $H(t) \approx 2$.

W dalszej kolejności rodzina kontynuuje utrudnianie pracy zespołowi, krytykując postawę lekarzy z racji faktu, iż zapomniano o pobraniu krwi pacjentki celem wykonania badań morfologicznych. Wartość lokalnego wykładnika Hursta maleje liniowo do wartości najbardziej

prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,1659$, dla czasu około 600 (próbki od 3000), po którym to rodzina przestaje w przeszkadzaniu zespołowi w wykonywaniu czynności, po przeprowadzeniu wywiadu przez Os.2.

Wartość lokalnego wykładowca Hursta rośnie następnie do wartości $H(t) \approx 2,8$ i utrzymuje się do czasu 700s, co odpowiada próbkom do 3500. W tym czasie zespół odbiera połączenie telefoniczne z laboratorium, które utwierdza lekarzy o podejrzeniu zakrzepicy tętnicy płucnej. W dalszym toku scenariusza dla czasu od 760s (próbki od 3800) wartość wykładowca osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 3,3261$ po czym utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 3$ do końca scenariusza. Odpowiada to sytuacji, w której Os.2 przeprowadza dalszy wywiad z rodziną pod kątem uczuleń, przebytych operacji czy zabiegów.

Scenariusz A2 – zawał ściany przedniej serca

Osoba 1

Osoba 1 to pielęgniarka mająca pierwszy kontakt z pacjentem. Po tym jak pacjent skarży się na silny ból w klatce piersiowej, a wzmożony oddech z pomocą dodatkowych mięśni oddechowych oraz siny wygląd twarzy powoduje, iż wzywa ona najbliższego lekarza na pomoc. Lekarz (Os.2) po przybyciu wydaje polecenie pielęgniarcie po początkowej rozmowie z pacjentem, by ta wezwała dodatkowe osoby. Wykładowca Hursta dla tego przedziału czasowego (do 745 próbki) rośnie od wartości $H(t) \approx 1,6$ do wartości $H(t) \approx 2,2$.

Po przybyciu dodatkowych lekarzy na miejsce zdarzenia (Os.3 oraz Os.4) zaznajamiają się oni z sytuacją pacjenta oraz otrzymują zadania do wykonania od Os.2. Os.1 początkowo deleguje nowoprzybyłe osoby (Os.3 oraz Os.4) do zadań. Os.1 nie jest zdecydowana, co powinna teraz robić. Następnie Os.2 zostaje oddelegowana do zmierzenia ciśnienia przez Os.2. Lokalna wartość wykładowca Hursta dla tego okresu spada stopniowo do wartości w okolicy $H(t) \approx 1,0$.

Obecność rodziny nie rozprasza w danym okresie Os.1. Os.4 odciąga rodzinę od zespołu wykonującego swoje zadanie. Po zmierzeniu ciśnienia Os.1 odkłada stetoskop. Następnie w czasie równym 1630 próbkom rodzina ponownie wkracza na salę z pacjentem, gdzie Os.1 odciąga ją na pobocze oraz przeprowadza wywiad dotyczący stanu pacjenta, przebytych chorób i historii leczenia. Następnie Os.1 sprawdza tętno pacjenta na tętnicach udowych (do 2470

próbki). Lokalny wykładowiec Hursta rośnie w danym okresie, od wartości $H(t) \approx 1,5$ do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2,2672$.

W kolejnych krokach pielęgniarka Os.2 nie otrzymała żadnych zadań do wykonania. Podczas, gdy Os.2 informuje pacjenta o konieczności zabiegu koronarografii i pyta o zgodę, Os.1 przygląda się sytuacji, przechodzi od prawej strony pacjenta na lewą, a następnie ponownie wraca do tego samego miejsca – czas do 2900 próbek. Na wykresie zmienności lokalnego wykładownika Hursta jego wartość spada poniżej *mode* $H(t) = 1,156$ i wynosi około $H(t) \approx 1,0$.

Następnie pielęgniarka (Os.2) zostaje poproszona przez lekarza (Os.1) o zebranie podpisu pacjenta, który wyraził zgodę na zabieg koronarografii. Wartość lokalnego wykładownika Hursta nieznacznie podnosi się ponad wartość *mode* $H(t) = 1,156$ i wynosi $H(t) \approx 1,25$.

Osoba 2

Osoba 2 to lekarz, który zostaje wezwany przez pielęgniarkę. Jest osobą decyzyjną, wydaje polecenia pielęgniarskie, by ta wezwała dodatkowe osoby do pomocy (zdarzenie 3), sprawnie przeprowadza wywiad z pacjentem, pod kątem uczuleń, przebytych chorób, długości trwania bólu w klatce piersiowej (zdarzenie 7), jednocześnie poleca wykonanie wkłucia i podanie aspiryny (zdarzenie 5), zakłada pacjentowi maskę tlenową (zdarzenie 6), kontakt rodziny z pacjentem (zdarzenie 8) nie wypływa na jego zachowanie, gdyż Os. 4 odciąga rodzinę od pacjenta. W dalszej kolejności poleca podanie morfiny (zdarzenie 10). W okresie tym lokalny wykładownik Hursta stopniowo rośnie od wartości $H(t) \approx 1,5$ do wartości $H(t) \approx 2,0$, po czym stopniowo maleje do wartości $H(t) \approx 1,7$. Odpowiada to przedziałowi czasu mierzonego w ilości próbek dla Os.2 do próbki 1300.

Gdy członkowie rodziny ponownie wchodzą na salę z pacjentem (zdarzenie 11), członek rodziny (Os.5) osobiście zwraca się do lekarza Os.2 o wyjaśnienie sytuacji pacjenta. Od tego momentu lokalny wykładownik Hursta spada poniżej wartości najbardziej prawdopodobniej *mode* $H(t) = 1,1447$, w okolice wartości $H(t) = 0,9$. Charakter generowanego sygnału przemieszczenia Os.2 przybiera postać szumową. Rodzina jednakże zostaje odciągnięta przez Os.4, a Os.2 zleca wykonanie badania morfologii krwi (zdarzenie 13), rodzina ponownie próbuje otrzymać informacje o stanie pacjenta (zdarzenie 14), jednak jest odciągnięta ponownie przez Os.1 na pobocze (czas 1300 próbek).

W dalszej kolejności Os.2 poleca wykonanie badania EKG Os.3, która w tym celu wykonuje połączenie telefoniczne do odpowiedniego oddziału. W czasie odpowiadającym 1710 próbkom (zdarzenie 16), a następnie 1785 próbkom (zdarzenie 17) Os.2 odpowiednio analizuje sygnał EKG oraz stwierdza zawał serca. Dla tych zdarzeń lokalna wartość wykładownika Hursta wzrasta do poziomu $mode H(t) = 1.1447$.

W kolejnym kroku Os.2 zleca wykonanie telefonu Os.4 na Oddział Kardiologii, celem zapytania o możliwość wykonania koronarografii. Os.4 nie jest dostatecznie świadoma wyników badania EKG, powoduje to, iż Os.2 odchodzi od wykonywanych czynności i sama przekazuje informacje o wynikach badania EKG – zawał ściany przedniej serca (zdarzenie 18). Oddział kardiologiczny wymaga jednakże zgody pacjenta na zabieg oraz sprawdzenie tętna na tętnicach udowych (zdarzenie 20). W tym samym czasie rodzina słysząc diagnozę lekarza podbiega do pacjenta (zdarzenie 19) i utrudnia wykonywanie czynności. Dla tych zdarzeń (1800 próbek – 2200 próbek) wartość lokalnego wykładownika Hursta osiąga minimum $H_{min}(t) = 0,55408$.

Po uzyskaniu zgody pacjenta na badanie, po wcześniejszym wyjaśnieniu mu specyfiki zabiegu oraz zebraniu niezbędnego podpisu, Os.2 ponownie wykonuje połączenie telefoniczne na Oddział Kardiologii informując o zgodzie pacjenta, a także o lekach jakie podano dotychczas pacjentowi. Oddział Kardiologiczny postanawia wysłać zespół, który dalej zabierze pacjenta na zabieg. Od czasu 2200 próbek lokalny wykładownik Hursta dla Os.2 rośnie do wartości $H(t) \approx 2,0$, gdzie w okolicy zdarzenia 22 (wyrażenie przez pacjenta zgody na koronarografię) osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,1353$. Lokalny wykładownik Hursta utrzymuje wartość $H(t) \approx 2,0$ aż do końca danego scenariusza, mimo dalszego nieznacznego wpływu rodziny (zdarzenie 25).

Osoba 3

Osoba 3 zostaje razem z Osobą 4 wezwana na miejsce zdarzenia przez pielęgniarkę (Os.1). Po wejściu na salę prosi pielęgniarkę, by ta wyjaśniła sytuację pacjenta. Zostaje poproszona przez lekarza (Os.2) o założenie wkładu dożylnego pacjentowi. W momencie około 500 próbki (zdarzenie 8) przy pacjencie pojawia się rodzina, która przeszkadza w wykonywaniu czynności. Os.3 zostaje następnie poproszona przez lekarza (Os.2) do podania pacjentowi morfiny (Zdarzenie 10), jednak po chwili (próbka 630) przy pacjencie ponownie pojawia się

rodzina. Dla tych momentów lokalna wartość wykładnika Hursta maleje od wartości $H(t) \approx 1,5$ do wartości minimalnej $H_{min}(t) = 1,0201$.

Po odcięnięciu rodziny z miejsca ratunkowego (próbka 670), Os.3 zostaje poproszona przez Os.2 o wykonanie telefonu celem zamówienia badania EKG. Lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta do wartości około $H(t) \approx 1,9$. W wyniku zdarzenia 16 (próbka 1250) Os.3 zostaje sama z pacjentem na krótki okres czasu, po czym Os.2 stwierdza zawał przedniej ściany serca pacjenta. Lokalna wartość wykładnika Hursta maleje dla tego okresu od wspomnianej wartości $H(t) \approx 1,9$ do wartości około $H(t) \approx 1,3$.

W dalszej kolejności Os.3 uniemożliwia rodzinie przeszkadzania zespołowi w wykonywaniu swych obowiązków, stanowczo informuje rodzinę, iż nie powinni przeszkadzać w akcji ratowniczej oraz informuje, iż zostaną oni powiadomieni w momencie, gdy postawiona zostanie odpowiednia diagnoza. Lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta ponownie od wartości równej około $H(t) \approx 3,0$.

Następnie Os.3 nie wykonuje żadnych konkretnych czynności, gdyż w danym momencie wykonywany jest telefon na Oddział Kardiologiczny celem wykonania koronarografii. Os.2 dalej uzyskuje zgodę pacjenta na badanie. Wartość wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 2,0$. Os.3 przystępuje następnie do pomiaru ciśnienia pacjenta, ponowne wkroczenie rodziny na salę nie przeszkadza Os.3 w wykonywaniu zadania, gdyż Os.1 rozmawia z rodziną o sytuacji pacjenta, następnie odciąga ją od zespołu ratującego. Os.3 następnie uczestniczy w dalszej analizie pacjenta, sugerując sprawdzenie obrzęku na kończynach. Wartość lokalnego wykładnika Hursta rośnie do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 3,4512$.

Osoba 4

Osoba 4 zostaje razem z Osobą 3 wezwana na miejsce zdarzenia przez pielęgniarkę (Os.1). Nie jest jeszcze świadoma co dzieje się z pacjentem, dostaje od Os.2 polecenie podania aspiryny pacjentowi, jednak przy braku wkłucia nie jest to możliwe. Os.2 pomaga w ustawieniu parametrów sprzętu, następnie podaje pacjentowi aspirynę w formie tabletki. Os.4 po pojawienniu się członków rodziny pacjenta odciąga ją od zespołu wykonującego swoje obowiązki (zdarzenie 8,9, czas od 500 próbki). Następnie zmierza do podania pacjentowi morfiny, jednak rodzina ponownie przybliża się do pacjenta żądając informacji o jego stanie. Os.4 ponownie

odciąga rodzinę od zespołu (zdarzenie 11). Wartość lokalnego wykładnika Hursta maleje dla tego okresu od wartości $H(t) \approx 1,0$ do wartości minimalnej $H(t) \approx 0,2731$.

Os.2 zleca Os.4 pobranie krwi i zlecenie wykonania badania morfologicznego. Rodzina ponownie wkracza na miejsce zdarzenia, jednak zostaje odciągnięta przez Os.1, działanie Os.4 zostaje w większości niezakłócone. Os.4 zostaje poproszona przez Os.2 o wspólną ocenę EKG. Po stwierdzeniu zawału przez Os.2 zostaje poproszona o wykonanie telefonu na kardiologię i zamówienie badania koronarografii. Os.4 ma trudności z przedstawieniem rozpoznania badania EKG, prosi lekarza kierującego Os.2 o przedstawienie szczegółów. W trakcie, gdy Os.2 tłumaczy konieczność wykonania koronarografii i prosi o zgodę na zabieg, Os.4 nie wykonuje żadnych konkretnych zadań. Wartość lokalnego wykładnika Hursta zwiększa się w stosunku do wartości minimalnej, osiąga wartość około $H(t) \approx 1,8$.

W dalszej kolejności Os.4 uczestniczy w dalszej analizie pacjenta, do przyjazdu zespołu kardiologów, którzy zabierają pacjenta z miejsca zdarzenia. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 4,1787$.

Osoba 5

Osoba 5 to członek rodziny pacjenta. Od momentu pojawienia się na sali, w której przebywa zespół ratujący pacjenta pragnie się z nim zobaczyć, przeszkadzając jednocześnie wykonywanie czynności ratowniczych. Pomimo odciagnienia rodziny od pacjenta przez osobę Os.4 (zdarzenie 9), członkowie rodziny ponownie żądają wyjaśnień w sprawie sytuacji najbliższego i chcą się z nim zobaczyć. Zostają następnie ponownie odciagnięci przez Os.4. W przypadku braku konkretnych informacji o stanie najbliższego rodziny po raz kolejny przeszkadza wykonującym akcję ratowniczą. Tym razem Os.1 odciąga rodzinę na pobocze (zdarzenie 14) i przeprowadza wywiad z członkami rodziny w kierunku historii przebytych chorób układu sercowo-naczyniowego. Dla opisanych wyżej zdarzeń, dla Os.5 wartość lokalnego wykładnika Hursta przyjmuje wartość minimum $H_{min}(t) = 0,0092103$, po czym wzrasta w miarę następujących zdarzeń do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 3,6333$.

W dalszej kolejności Os.5 usłyszała diagnozę lekarza (Os.2), iż jest to zawał ściany przedniej serca, ponownie wkracza między zespół ratujący. Os.3 ponownie wyprasza Os.5 z sali i tłumaczy, iż pacjentem zajmuje się zespół lekarzy oraz, iż zostanie poinformowany w najbliższym czasie o rozwoju wypadków. W dalszej kolejności zespół lekarzy wykonuje

połączenie telefoniczne na Oddział Kardiologii celem wykonania zabiegu koronarografii. Po wyrażeniu zgody pacjenta na koronarografię (próbka 1585) rodzina podchodzi ponownie do pacjenta (próbka 1685), jednak nie zostaje natychmiast odciągnięta od miejsca zdarzenia, gdyż dokonano rozpoznania stanu pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla opisanych powyżej zdarzeń spada poniżej wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 3,6333$. do około $H(t) \approx 3$ dla czasu odpowiadającego próbkom do 2715, co odpowiada sytuacji, gdy Os.5 podbiega do pacjenta i zostaje odciągnięta przez Os.3, a dalej spada do wartości $H(t) \approx 2$, gdy rodzina (Os.5 oraz Os.6) po raz kolejny podbiega do pacjenta (zdarzenie 24; czas 1700 próbek).

Osoba 6

Osoba 6 to członek rodziny pacjenta. Od momentu pojawiennia się na sali, w której przebywa zespół ratujący pacjenta pragnie się z nim zobaczyć, przeszkadzając jednocześnie wykonywanie czynności ratowniczych. Pomimo odciagnienia rodziny od pacjenta przez osobę Os.4 (zdarzenie 9), członkowie rodziny ponownie żądają wyjaśnień w sprawie sytuacji najbliższego i chcą się z nim zobaczyć. Zostają następnie ponownie odciagnięci przez Os.4. W przypadku braku konkretnych informacji o stanie najbliższego rodziny po raz kolejny przeszkadza wykonującym akcję ratowniczą. Tym razem Os.1 odciąga rodzinę na pobocze (zdarzenie 14) i przeprowadza wywiad z członkami rodziny w kierunku historii przebytych chorób układu sercowo-naczyniowego. Dla opisanych wyżej zdarzeń, dla Os.6 wartość lokalnego wykładnika Hursta przyjmuje wartość minimum $H_{min}(t) = 0,14826$, po czym wzrasta w miarę następujących zdarzeń do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 5,2222$.

W dalszej kolejności Os.6 usłyszała diagnozę lekarza (Os.2), iż jest to zawał ściany przedniej serca, jednak nie wkracza między zespół ratujący. W dalszej kolejności zespół lekarzy wykonuje połączenie telefoniczne na Oddział Kardiologii celem wykonania zabiegu koronarografii. Po wyrażeniu zgody pacjenta na koronarografię (próbka 1585) rodzina (Os.5 oraz Os.6) podchodzi ponownie do pacjenta (próbka 1685), jednak nie zostaje natychmiast odciągnięta od miejsca zdarzenia, gdyż dokonano rozpoznania stanu pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla opisanych powyżej zdarzeń spada poniżej wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 5,2222$. do około $H(t) \approx 4$ dla czasu odpowiadającego próbkom do 2715, co odpowiada sytuacji, gdy Os.6 czeka na informację od strony lekarzy, a dalej spada do

wartości $H(t) \approx 2$, gdy rodzina po raz kolejny podbiega do pacjenta (zdarzenie 24; czas 1700 próbek).

Scenariusz A3 – odma płuca prawego

Osoba 1

Os.1 to pielęgniarka, która ma od początku kontakt z pacjentem, kładzie go na łóżko, gdy ten skarży się na wzmagające się trudności z oddychaniem. Os.1 początkowo sama nie wykonuje żadnych czynności, czeka na polecenia od lekarza (Os.2): podłącza pacjenta do EKG, wzywa dodatkowych członków zespołu ratowniczego do pomocy itp. Obejmuje to zakres próbek od początku do około 1600 próbki, kiedy to Os.1 konsultuje z Os.2 wskazania do badania laboratoryjnego krwi. Wartość lokalnego wykładownika Hursta od początku scenariusza spada od wartości $H(t) \approx 0,9$ i dalej osiągając dla 1615 próbki wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,47747$.

Po zaniesieniu próbki krwi pacjenta przez Os.1 decyduje się pomóc Os.2 w założeniu maski tlenowej pacjentowi (próbki od 2095). Następnie sugeruje wykonanie badania EKG dwunastoodprowadzeniowego (próbki od 2125), dalej zwiększa pacjentowi podaż tlenu przez maskę tlenową i uczestniczy w badaniu fizykalnym pacjenta. Wartość lokalnego wykładownika Hursta wzrasta i oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa)

$$modeH(t) = 1,0529 \text{ do czasu odpowiadającego próbce około } \underline{3\ 225}.$$

Wartość lokalnego wykładownika Hursta spada nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 0,8$, gdy pacjent traci przytomność i zamyka oczy (próbki od 3600). Os.1 zostaje poproszona o przygotowanie 100mg Hydrokortyzonu i następnie podanie go w bolusie. Wartość lokalnego wykładownika Hursta wzrasta ponad wartość najbardziej prawdopodobną (z rozkładu prawdopodobieństwa) $H(t) \approx 1,35$, po czym rośnie do próbki około 6500 osiągając wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,8405$. Odpowiada to zdarzeniom, w których Os.1 pomaga założyć pacjentowi maskę do ręcznej wentylacji płuc pacjenta, następnie prowadzi RKO (Resuscytację Krążeniowo-Oddechową) uciskając początkowo klatkę piersiową pacjenta (masaż serca), a następnie wentylując płuca pacjenta (próbki od 4\ 895). Następnie Os.1 stwierdza trzeszczenia podskórne w okolicach szyi, przy badaniu tępna pacjenta, co jest jedną z oznak odmy – naprowadza to zespół na dalszy schemat postępowania, po chwili ponawia wentylację płuc

pacjenta przy braku samodzielnego oddechu (próbki od 5 820). Gdy Os.3 odbarcza odmę pacjenta Os.1 nadal kontynuuje wentylację płuc pacjenta (próbki od 6 300).

W dalszej kolejności wartość lokalnego wykładnika Hursta obniża się od wspomnianego wcześniej maksimum (dla próbki 6 300), do wartości około $H(t) \approx 1,1$. Odpowiada to zdarzeniom, gdzie resuscytacja kراżeniowo-oddechowa nie powoduje po trzech przerwach kontrolnych powrotu samoczynnej akcji oddechowej pacjenta mimo, iż serce pacjenta po defibrylacji rozpoczęło pracę. Os.1 do końca scenariusza wentyluje płuca pacjenta.

Osoba 2

Os.2 jest lekarzem, która była od początku scenariusza na miejscu zdarzenia. Od jego początku wydaje polecenia Os.1, przeprowadza wywiad z pacjentem oraz badanie oglądowe, po którym poleca założyć pacjentowi maskę tlenową i wezwać dodatkowe osoby do pomocy na miejsce zdarzenia. Wartość lokalnego wykładnika Hursta osiąga od początku scenariusza wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,7287$, po czym spada do wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,0529$, dla próbki od około 2 500, w której to stan pacjenta się pogarsza, a Os.2 telefonuje do Zakładu Diagnostyki Obrazowej celem wykonania RTG klatki piersiowej.

W następnej kolejności lokalna wartość wykładnika Hursta rośnie do wartości około $H(t) \approx 1,4$, gdy pacjent traci przytomność, gdzie Os.2 wydaje dyspozycję Os.1, by ta przygotowała i podała pacjentowi hydrokortyzon, sprawdza stan pacjenta, po którym stwierdza, iż nie oddycha on samodzielnie, dalej zakładając pacjentowi maskę i podejmując ręczną wentylację płuc pacjenta. W okolicy 4000 próbki Os.2 wydaje polecenie Os.4 i stwierdza, iż maska do wentylacji nie ma wkładki krtaniowej; lokalna wartość wykładnika Hursta obniża się chwilowo do wspomnianej wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,0529$, po czym wzrasta ponownie do wartości $H(t) \approx 1,4$, gdy Os.2 wznowia wentylację płuc pacjenta z wkładką krtaniową.

Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada ponownie do wartości $modeH(t) = 1,0529$, gdy zespół otrzymuje wyniki badania krwi z laboratorium, które należy odpowiednio zinterpretować. Gdy Os.3 stwierdza kwasicę oddechową pacjenta i ogłasza przerwę w RKO na ocenę jego stanu, wartość lokalnego wykładnika Hursta Os.2 wzrasta do wartości około $H(t) \approx 1,5$ (próbki od 4785).

Następnie Os.2 osłuchuje płuc pacjenta, analizując szmery pod płucami, które są niesymetryczne. opuk nad prawym płucem jest nadmiernie jawny (bębenkowy), a dalej powracając do RKO, gdyż pacjent nie ma tężna oraz nie oddycha samodzielnie. Zespół zastanawia się nad dalszym postepowaniem. Lokalna wartość wykładnika Hursta spada dla tych wydarzeń (od próbki 5200) do wartości najbardziej prawdopodobnej, którą osiąga w czasie odpowiadającym 6100 próbce.

W toku dalszych wydarzeń Os.2 podejmuje masaż serca pacjenta, przerwany defibrylacją dokonaną przez Os.4. Defibrylacja pacjenta wznowia akcję serca pacjenta, który zaczyna kaszleć, gdy Os.2 wznowia masaż serca po wykonaniu defibrylacji. Lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,4$. Pod koniec scenariusza Os.2 wraz z Os.3 dokonują analizy powtórnie wykonanego zdjęcia RTG, gdzie po dokonaniu analizy Os.2 telefonuje do Oddziału Chirurgicznego przedstawiając stan ogólny pacjenta i prosiąc o wykonanie drenu do klatki piersiowej. Chirurg dyżurny odbierający telefon stwierdza, iż wyśle odpowiednio wykwalifikowaną osobę na Szpitalny Oddział Ratunkowy. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada niewiele poniżej wartości najbardziej prawdopodobnej i osiąga minimum $H_{min}(t) = 1,0339$.

Osoba 3

Os.3 to lekarz, który przybywa na miejsce zdarzenia po 70 sekundach (przesunięcie o 350 próbek względem tabeli zdarzeń). Os.3 przejmuje dowodzenie nad zespołem od momentu przybycia i zapoznania się ze stanem pacjenta. Osłucha klatkę piersiową pacjenta, konsultuje z Os.2 lek, którzy przyjmuje pacjent. Wartość lokalnego wykładnika Hursta osiąga od początku scenariusza wartość maksymalną równą $H_{max}(t) = 1,8336$.

Następnie wartość lokalnego wykładnika Hursta obniża się nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 1,4$ i utrzymuje się do czasu odpowiadającego próbce 4000. Odpowiada to zdarzeniom, w których Os.3 próbuje nakłonić pacjenta do samodzielnej aplikacji leku, jednak ten odmawia z powodu braku sił, dalej stan pacjenta ulega pogorszeniu. Os.3 dokonuje badania fizykalnego pacjenta, gdzie wypuk nad płucami jest nadmiernie jawny, żyły szyjne pracujące w rytmie oddechu. Os.3 analizuje wykonane badanie RTG klatki piersiowej. Po tym, gdy pacjent jest nieprzytomny Os.3 wydaje polecenie podania pacjentowi dalszych leków, przygotowuje

maskę tlenową pacjenta i stwierdza brak tętna, co prowadzi dalej do Resuscytacji Krążeniowo-Oddechowej pacjenta. Stan pacjenta nie jest jeszcze dokładnie określony.

Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,1$, gdy Os.3 zaczyna prowadzić ewidencję czasową, jednocześnie kierując akcją ratowniczą. Po chwili zespół otrzymuje telefon z laboratorium z wynikami badań krwi, które Os.3 zapisuje na tablicy. Z szeregow wyników gazometrycznych Os.3 orzeka kwasicę oddechową pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta ponownie do wartości około $H(t) \approx 1,4$.

Gdy Os.3 zarządza kolejną przerwę w wykonywaniu RKO, Os.1 badając tętno pacjenta odczuwa trzeszczenia podskórne na szyi pacjenta (powietrze). Os.3 analizując zebrane dane określa, iż jest to prawdopodobne odma.

Wartość lokalnego wykładnika Hursta osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,96088$, w momencie w którym Os.3 decyduje się poddać pacjenta inwazyjnemu zabiegowi torakocentezy, celem odbarczenia pacjenta. Po wykonaniu tego zabiegu Os.4 przeprowadza defibrylację pacjenta, co skutkuje wznowieniem akcji serca, jednak bez akcji oddechowej. Zespół wentyluje płuca pacjenta, Os.2 telefonuje do oddziału chirurgii celem założenia drenu do klatki piersiowej. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta dla wspomnianych wydarzeń nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 1,0$.

Osoba 4

Os.4 to lekarz, który został wezwany na miejsce zdarzenia przez Os.2. Od początku scenariusza osoba 4 zapoznaje się z sytuacją pacjenta, następnie szuka narzędzi, które posłużą mu do założenia wkłucia. Wartość lokalnego wykładnika Hursta od początku scenariusza osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,9184$.

Wartość wykładnika Hursta następnie spada i osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 1,0672$ w momencie, w którym stan pacjenta się pogarsza. Odpowiada to około 1760 próbce na wykresie zmienności lokalnej wartość wykładnika Hursta dla Os.4. Wartość ta rośnie do wartości około $H(t) \approx 1,4$ w momencie, w którym Os.4 mierzy ciśnienie tętnicze krwi pacjenta, Os.2 telefonuje do zakładu Diagnostyki Obrazowej celem wykonania przyłożkowego RTG klatki piersiowej pacjenta i utrzymuje się poprzez dalszą analizę pacjenta i konsultację członków zespołu co do dalszego postępowania.

Gdy pacjent traci przytomność, po Os.3 wydaje polecenie Os.4 przygotowania leków, następnie Os.2 sugeruje Os.4 podanie pacjentowi adrenaliny. Os.4 (około czasu odpowiadającego próbce 4035) odbiera połaczenie telefoniczne od laboratorium, które przekazuje informacje o wynikach morfologii, elektrolitach i gazometrii krwi, gdzie ta ostatnia odbiega od normy. Wartość lokalnego wykładnika Hursta utrzymuje się wokół wartości $H(t) \approx 1,35$.

Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 1,2$, gdy Os.4 sprawdza podręcznik postępowania w przypadku kwasicy oddechowej, co odpowiada czasowi dla próbki 4735. Wartość tego wykładnika rośnie ponownie do wartości około $H(t) \approx 1,5$, gdy Os.4 przejmuje czynność masaż serca pacjenta z powodu planowanej zmiany w RKO.

Wartość tego wykładnika spada na krótki okres czasu (od próbki 5935 do 6200), dla których Os.4 wstrzymuje masaż serca pacjenta, gdzie Os.3 przystępuje do inwazyjnego zabiegu torakocentezy. Wykładnik osiąga wartość $H(t) \approx 1,2$, po czym Os.4 wznowia masaż serca pacjenta – wykładnik Hursta rośnie ponownie do wartości $H(t) \approx 1,4$.

Dla czasu odpowiadającego około 6300 zespół ponownie ocenia funkcje oddechowo-krażeniowe pacjenta. Os.4 wstrzymuje wykonywanie masażu serca pacjenta. Lokalna wartość wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,3$. W przypadku braku tętna i czynności oddechowych zespół kontynuuje RKO, gdzie Os.4 w masażu serca zastępuje Os.2.

W dalszej kolejności Os.4 dokonuje defibrylacji mięśnia sercowego pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości około $H(t) \approx 1,4$. Dalej następuje dalsza analiza pacjenta Os.4 bada tętno na kończynie górnej lewej, po chwili sprawdza w okolicy szyi. Wartość wykładnika Hursta spada nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 1,2$. Po czym, gdy Os.4 stwierdza powrót akcji serca pacjenta, wartość tego wykładnika rośnie do około $H(t) \approx 1,3$. Ostatnim zadaniem Os.4 przed końcem scenariusza jest pomiar ciśnienia. Wartość wykładnika Hursta wynosi wtedy około $H(t) \approx 1,3$.

Scenariusz B1 –ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Osoba 1

Osoba 1 to lekarz mający pierwszy kontakt z pacjentem. Jest to osoba koordynująca akcję ratowniczą. W momencie pojawienia się dodatkowych ratowników (Os.3 oraz Os.4) wyjaśnia im okoliczności zdarzenia, następnie wydaje tym osobom polecania (zdarzenie 5,6,7,8). Sama zaś wykonuje telefon do Oddziału Kardiologii, jednak połączenie nie zostaje zrealizowane z powodu zajęcia linii telefonicznej, dla czasu odpowiadającego 1050 próbce. Lokalna wartość wykładnika Hursta rośnie dla opisanych zdarzeń od wartości minimum $H_{min}(t) = 0,68686$ do wartości $H(t) \approx 1,0$ po wykonaniu zdarzenia 9.

Wartość ta utrzymuje się poprzez zdarzenia 10 oraz 11, po czym rośnie do wartości około $H(t) \approx 1,5$ w momencie, w którym Os.1 przeprowadza wywiad z pacjentem (zdarzenie 12), poleca podanie pacjentowi nitrogliceryny w formie wziewnej (zdarzenie 13), a następnie w momencie, w którym Os.3 stwierdza brak poprawności zapisu EKG z odprowadzeni przedsercowych (zdarzenie 14).

Os.1 wykonuje połączenie telefoniczne do Oddziału Kardiologii, w trakcie którego lekarz kardiolog odmawia przyjęcia pacjenta i możliwości konsultacji, gdyż nie przeprowadzono należytych czynności kwalifikujących pacjenta do przyjęcie go na oddział. Os.1 wykonuje następnie telefon do Technika EKG celem wykonania dwunastoodprowadzeniowego badania EKG, poleca Os. 4 wykonanie pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. Po przybyciu technika EKG, który przedstawia wyniki badania Os.1 stwierdza zawał serca, poleca podanie pacjentowi morfiny, następnie wykonuje ponownie telefon do Oddziału Kardiologii. Zakres wymienionych wydarzeń mieści się w czasie odpowiadającym próbkom z zakresu 3170 – 5070, w trakcie którego lokalna wartość wykładnika Hursta spada od wartości $H(t) \approx 1,5$ do wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,1456$.

W trakcie zdarzenia 21 oraz 22, wartość lokalnego wykładnika rośnie, gdzie osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,8865$. Następnie w trakcie przeprowadzania przez Os.1 rozmowy z pacjentem celem uzyskania zgody na badanie, gdzie pacjent nie jest pewny istoty badania, wartość lokalnego wykładnika Hursta spada do wartości około $H(t) \approx 1,5$, po czym nieznacznie rośnie do wartości $H(t) \approx 1,65$.

Osoba 2

Osoba 2 to pielęgniarka, która wraz z Os.1 jest z pacjentem od początku niniejszego scenariusza. Dostaje polecenie od lekarza koordynującego (Os.1), by monitorować drogi oddechowe pacjenta. Po czasie równym około 960 próbkom przeprowadza rozmowę z pacjentem, który skarży się na trudności w oddychaniu. Lokalna wartość wykładnika Hursta rośnie od wartości minimalnej $H_{min}(t) = 0,86476$ do wartości $H(t) \approx 1,5$, po czym po nastąpieniu zdarzenia 8, maleje do $H(t) \approx 1,35$.

Po założeniu pacjentowi maski tlenowej (zdarzenie 10, czas mierzony w próbkach: 1320), wartość lokalnego wykładnika Hursta rośnie ponownie do wartości $H(t) \approx 1,5$ i utrzymuje się do czasu odpowiadającego 2150 próbce, kiedy to Os.1 przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem, który potwierdza wcześniejszą historię leczenia serca, kilkuletnie nadciśnienie oraz o konieczności przyjmowania leków.

Po tym czasie Os.2 zostaje zobligowana do podania pacjentowi wziewnej nitrogliceryny, wykładnik Hursta maleje do wartości $H(t) \approx 1,2$. Po stwierdzeniu braku poprawności zapisu EKG przez Os.3 odpowiadającym próbce 2910, wartość lokalnego wykładnika Hursta spada i oscyluje następnie wokół wartości $modeH(t) = 1,0817$. Zespół ratunkowy zastanawia się nad możliwościami podjęcia następnych kroków. Os.1 ponownie telefonuje do Oddział Kardiologii, co zostało wspomniane w poprzednim punkcie, w tym czasie Os.2 poprawia oparcie pacjenta (próbka 3170), pionizując lekko jego postawę, w międzyczasie reszta zespołu nadal zastanawia się nad postępowaniem z pacjentem. Os.2 w czasie około 4850 próbki podaje pacjentowi morfinę. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,2$, po czym ponownie spada do $modeH(t) = 1,0817$. Dla czasu próbki 3170 oraz 6200, w której Os.2 poprawia pozycję pacjenta oraz sprawdza obecność obrzęków na kończynach dolnych, celem przekazania tej informacji lekarzowi pracującemu na Oddziale Kardiologii, wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta ponad $modeH(t) = 1,0817$, do wartości $H(t) \approx 1,2$, po czym ponownie spada do wartości $modeH(t) = 1,0817$.

W dalszym przebiegu scenariusza zespołowi ratunkowemu pozostało jedynie przekonać pacjenta do wyrażenia zgody na podjęcie leczenia na Oddziale Kardiologii Zabiegowej. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla Os.2 wzrasta do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2,045$.

Osoba 3

Osoba 3 to pielęgniarka wezwana na miejsce zdarzenia wraz z Os.4 przez Os.2. Po przybyciu na miejsce zdarzenia zapoznaje się z sytuacją pacjenta, zostaje poproszona przez lekarza koordynującego (Os.1) o podłączenie pacjenta do sprzętu EKG, następnie do podłączenia pacjentowi pulsoksymetru. Po poinformowaniu zespołu przez pacjenta o narastającym bólu w klatce piersiowej (zdarzenie 11, dla czasu 1550 wyrażonego w próbkach dla Os.3) zespół konsultuje się między sobą nad podaniem morfiny pacjentowi. Lokalna wartość wykładnika Hursta rośnie od początku opisanych wydarzeń od wartości około $H(t) \approx 1,20$ do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2,0946$, odpowiadającej zdarzeniu 12 (czas 1900 próbek), w którym to Os.1 przeprowadza wywiad z pacjentem nt. historii leczenia na chorobę serca i nadciśnienie.

W okolicy 2660 próbki dla Osoby 3, co odpowiada zdarzeniu 14, w którym stwierdza ona brak poprawności zapisu EKG, lokalna wartość wykładnika Hursta gwałtownie spada, osiągając wartość minimalną wynoszącą $H_{min}(t) = 2,045$. Wartość ta następnie niewiele rośnie oscylując wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,0596$. Po czym wartość ta rośnie do wartości około $H(t) \approx 1,50$ w momencie, gdy Os.3 przegląda podręcznik ratownictwa medycznego celem ustalenia dawki morfiny, którą należy podać pacjentowi, oraz zasad podawania β -blokerów. Wartość wykładnika Hursta spada ponownie do poziomu $H(t) \approx 1,20$, po czym znowu rośnie, w momencie około 4300 próbki, w trakcie, gdy Os.3 pomaga w interpretacji zapisu dwunastoodprowadzeniowego EKG. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada następnie do poprzedniego poziomu $H(t) \approx 1,20$, z nieznacznym i chwilowym wzrostem w momencie, gdy pacjent zostaje poinformowany o rozpoznaniu u niego zawału serca $H(t) \approx 1,45$, po czym wraca do wartości $H(t) \approx 1,20$.

W momencie, gdy lekarz kardiolog pyta, czy sprawdzono obecność obrzęków na kończynach dolnych, czy pacjent zgadza się na leczenie inwazyjne (próbki od 5820) wartość lokalnego wykładnika Hursta ponownie spada i oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,0596$. W ostateczności, od czasu odpowiadającego próbce 7000, w momencie gdy Os.3 wraz z zespołem tłumaczy istotę zabiegu koronarografii celem uzyskania zgody pacjenta na leczenie, wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,75$.

Osoba 4

Osoba 4 to pielęgniarka wezwana na miejsce zdarzenia wraz z Os.3 przez Os.2. W następnej kolejności Os.1 poleca przygotowanie leków Os.4, podłączenie płynów pacjentowi oraz pobranie krwi do badania morfologii. W tym celu Os.4 najpierw dokonuje wkłucia do prawej żyły łokciowej, pobiera próbkę krwi pacjenta, którą następnie dostarcza do laboratorium, po czym przystępuje do podania środków pacjentowi. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta od wartości oscylującej początkowo wokół wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,1142$, wraz z wartością minimalną $H_{min}(t) = 0,90771$ do wartości około $H(t) \approx 1,50$, w momencie odpowiadającym powrotowi Osoby 4 do miejsca zdarzenia (sala SORu) i przygotowania oraz podania morfiny pacjentowi.

Wartość ta ($H(t) \approx 1,50$) spada po tym jak Os.1 telefonuje w celu zamówienie badania dwunastoodprowadzeniowego EKG (czas 3500 próbek dla Os.4). Spada ona do wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,1142$ i oscyluje wokół niej, w momencie gdy Os.4 nie wykonuje żadnych czynności związanych z pacjentem, gdzie następnie zostaje poinstruowana by zmierzyć pacjentowi ciśnienie tętnicze krwi (zdarzenie 17), w następnej kolejności Os.2 podaje pacjentowi morfinę, dalej Os.1 decyduje się zatelefonować ponownie do Oddziału Kardiologii. Os.4 czeka.

Podczas, gdy Os.1 telefonuje do Oddziału Kardiologii, Os.4 pomaga jej przekazać informację odnośnie lokalizacji zawału z zapisu EKG dwunastoodprowadzeniowego. Wartość lokalnego wykładnika Hursta zmienia się skokowo dla tego wydarzenia od wartości $modeH(t) = 1,1142$ do $H(t) \approx 1,50$, po czym spada do wartości $H(t) \approx 1,30$, gdy Os.1 kontynuuje rozmowę z lekarzem z Oddziału Kardiologii.

Wartość tego wykładnika ponownie wzrasta skokowo do wartości $H(t) \approx 1,50$, po czym opada do $H(t) \approx 1,30$ w momencie, gdy Os.4 wyciąga dokument stanowiący zapis zgody pacjenta na zabieg koronarografii. Po zakończeniu rozmowy telefonicznej przez Os.1 podchodzi ona do pacjenta, przeprowadzając z nim rozmowę na temat konieczności zabiegu i wyrażenia jego zgody. Pozostałe osoby, w tym Os.4 przysłuchując się rozmowie pacjenta z lekarzem, następnie następuje zgoda pacjenta i koniec scenariusza. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta dla opisanych zdarzeń do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 1,9136$.

Scenariusz B2 – Zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii

Osoba 1

Osoba 1 pojawia się na miejscu zdarzenia wezwana przez Os.2 po czasie 21 sekund [co stanowi początek zapisu generowanego szeregu czasowego dla tej osoby]. Po opuszczeniu Sali przez pracowników pogotowia ratunkowego Os.1 sprawdza przytomność pacjenta, osłuchuje klatkę piersiową pacjenta. Zespół nie posiada w tym czasie wyników badań pacjenta, a także zapisu EKG. Wartość lokalnego wykładnika Hursta oscyluje wtedy wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) i wynosi $modeH(t) = 1,0922$.

Po otrzymaniu przez zespół wyniku badania EKG Os.1 wraz z Os.3 analizuje zapis EKG. Wartość lokalnego wykładnika Hursta rośnie do wartości około $H(t) \approx 1,5$. Po czym spada ponownie, gdy zespół wspólnie zastanawia się nad dalszym postępowaniem z pacjentem, do wartości poniżej najbardziej prawdopodobnej, wynoszącej $H(t) \approx 0,9$.

Dla czasu ok. 5400 próbki, w której zespół otrzymuje wyniki badania pacjenta, wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta ponownie do wartości około $H(t) \approx 1,5$. W czasie, gdy pacjent zaczyna robić się bardzo siny i zespół zdecydował się na wentylację płuc pacjenta, gdzie Os.1 przygotowuje tą maskę, wartość lokalnego wykładnika Hursta spada chwilowo do wartości $H(t) \approx 1,25$. Gdy pacjent jest wentylowany, a sinica ustępuje, wartość tego wykładnika ponownie wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,5$.

Gdy stan pacjenta jest ciężki, lecz stabilny zespół zastanawia się nad dalszym postępowaniem. Os.1 wraz z Os.1 ponownie analizują zapis EKG, następnie badanie to wykonywane jest ponownie, gdzie nieobecne są poważniejsze różnice, poza spadkiem częstości skurczów serca. Os.1 ocenia ponownie stan pacjenta. Pobierana jest ponownie krew pacjenta do badań, Os.1 mierzy tętno pacjentowi. Lokalna wartość wykładnika oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 1,5$.

Pod koniec scenariusza Os.1 wykonuje szereg połączeń telefonicznych: najpierw z Oddziałem Kardiologii, który odmawia przyjęcia pacjenta, jednocześnie sugerując kontakt z nefrologiem, gdyż pada podejrzenie niewydolności nerek i konieczności zastosowania dializy, później z lekarzem nefrologiem, który zgadza się przyjąć pacjenta, jednak poleca zadzwonić dodatkowo na Oddział Anestezjologii celem przygotowania pacjenta do dializy. Lokalna

wartość wykładnika Hursta spada dla tych wydarzeń do wartości minimalnej wynoszącej $H_{min}(t) = 0,77751$. Scenariusz kończy się w momencie, gdy Os.1 uzyskuje zgodę z Oddziału Anestezjologii do przeprowadzenia niezbędnego wkładania do dializy.

Osoba 2

Osoba 2 to lekarz otrzymujący telefon od pracowników pogotowia ratunkowego (PR). Na początku scenariusza, po zakończeniu połączenia telefonicznego z pogotowiem ratunkowym, wzywa do sali SORu (Szpitalnego Oddziału Ratunkowego) resztę zespołu: Os.1, Os.3 oraz Os.4. Lekarz koordynujący od tego momentu (Os.1) poleca Os.2 przygotowanie adenozyny. Na pytanie zespołu, czy pacjent jest stabilny czy niestabilny, Os.2 nie potrafi udzielić odpowiedzi, gdyż nie zapamiętała informacji z połączenia telefonicznego. Zespół zastanawia się nad dalszymi przygotowaniami. Lokalna wartość wykładnika Hursta osiąga dla Os.2 od początku scenariusza wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,7737$ i oscyluje wokół tej wartości.

Po przybyciu pacjenta na salę SORu, ponownym przedstawieniu sytuacji pacjenta przez pracowników PR i opuszczeniu przez nich salę, zespół przystępuje do akcji ratunkowej. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla Os.2 od tego momentu wzrasta do wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,2284$ i oscyluje wokół niej poprzez zdarzenia 8 – 24. Dla tych zdarzeń Os.2 wykonuje wkładanie dożylne pacjentowi, zakłada wenflon do dalszego podawania środków farmakologicznych pacjentowi, podłącza pacjenta do kroplówki, analizuje wspólnie z zespołem zebrane wyniki badań od pacjenta.

Dla zdarzenia 25 (czas od 6600 próbki dla Os.2) pacjenta zaczyna robić się siny. Os.2 decyduje podać się pacjentowi dożylnie glukozę, a następnie, gdy sinica pacjenta intensyfikuje się, Os.2 wraz z Os.1 postanawiając przygotować maskę krtaniową w celu ręcznej wentylacji płuc pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla Os.2 osiąga wartość maksymalną dla tego okresu wynoszącą $H_{max}(t) = 1.8535$, po czym spada do wartości $H(t) \approx 1,3$.

W momencie, gdy sinica pacjenta ustępuje w skutek wentylacji płuc pacjenta wartość wykładnika dla Os.2 wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,5$. Os.2 do końca scenariusza wentyluje płuca pacjenta, konsultując jedynie niektóre elementy dalszego postępowania z resztą zespołu

(Os.1, Os.3). Wartość wykładnika Hursta spada do wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa, która wynosi $modeH(t) = 1,2284$.

Osoba 3

Os.3 po wezwaniu na salę SORu przez Os.2 zapoznaje się z sytuacją. W momencie, gdy Os.2 nie potrafi udzielić wyczerpującej odpowiedzi na temat stanu pacjenta Os.3 przystępuje do samodzielnego przygotowana sprzętu na sali. Przystępuje do włączenia defibrylatora, sprawdza podręcznik postępowania w nagłych wypadkach. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla Os.3 od początku scenariusza utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,7$.

Następnie na salę ratunkową SORu przyjeżdża pacjent wraz z dwoma pracownikami pogotowia ratunkowego, który krótko przedstawiają stan pacjenta oraz dostarczają listę leków, które pacjent przyjmuje. W dalszej kolejności pracownicy PR opuszczają salę, Os.3 przystępuje do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. Po wykonaniu badania dwunastoodprowadzeniowego EKG przez technika, który dostarcza następnie zapis tego badania, Os.3 wraz z Os.1 analizują zapis tego badania. Lokalna wartość wykładnika Hursta utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,7$.

Os.3 dostrzega nadmierną suchość skóry u pacjenta, wysuszenie śluzówek oraz języka. Dalej osoba z laboratorium dostarcza wyniki badań krwi pacjenta. Zespół stwierdza ciężki stan pacjenta i zastanawia się nad podjęciem dalszych kroków. Lokalna wartość wykładnika Hursta spada do wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,1701$ i oscyluje wokół niej.

Os.3 podejmuje decyzję, by zawiadomić Oddział Kardiologiczny o pacjencie, który przebywa na sali SORu. Wartość lokalnego wykładnika Hursta osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,8919$. Po chwili lekarz kardiolog pyta o wyniki wykonanych badań, następnie odmawiając dalszego postępowania i sugerując kontakt z specjalistą nefrologiem, gdyż pacjent nie kwalifikuje się na leczenie na oddziale kardiologii. Po zakończeniu rozmowy z lekarzem kardiologiem, pacjent zaczyna robić się siny, a jego oddech coraz bardziej płytka. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada do wartości minimalnej $H_{min}(t) = 0,99308$.

W dalszej kolejności stan pacjenta ulega stabilizacji, gdy zostaje on wentylowany ręcznie przez maskę krtaniową. Zespół ponownie zastanawia się nad dalszym postępowaniem z pacjentem. Os.3 rozważa podanie pacjentowi „Amiodaronu” – leku, który podawany jest w

trakcie zawału serca, zmniejsza on zapotrzebowanie mięśnia sercowego na tlen, działa także antyarytmicznie. Wykazuje to, iż zespół nie zidentyfikował poprawnie zapisu EKG – szerokie zespoły QRS, wysokie „szpiczaste” załamki T – zapis ten jednoznacznie świadczy, wraz z otrzymanymi wynikami badań morfologii krwi, o przebiegu hiperkaliemii. Os.3 ponownie wysyła próbkę krwi pacjenta do badania, ponownie wykonane jest badanie EKG. Dalej Os.1 telefonuje na oddział kardiologii, po czym na oddział nefrologii, a w ostateczności na oddział anestezjologii, co kończy scenariusz. Wartość lokalnego wykładownika Hursta rośnie dla tych wydarzeń od wartości minimalnej (dla czasu równego próbce około 6400) $H_{min}(t) = 0,99308$, do wartości najbardziej prawdopodobnej z dystrybucji prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,1701$, wokół której oscyluje do końca trwania scenariusza.

Osoba 4

Osoba 4 to pielęgniarka, która zostaje wezwana na miejsce zdarzenia przez Os.2 do sali SORu. Po przybyciu na miejsce zdarzenia zapoznaje się z sytuacją. W przypadku braku poleceń od zespołu lekarzy nie podejmuje chwilowo żadnych działań. Wartość lokalnego wykładownika Hursta spada od początku scenariusza od wartości $H(t) \approx 1,0$, do wartości minimalnej $H_{min}(t) = 0,36276$ w chwili, gdy pracownicy pogotowia ratunkowego opuszczają salę SORu.

W dalszej kolejności Os.4 podaje Os.3 stetoskop, który posłuży jej do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. Podaje Os.2 sprzęt do wykonania wkłucia do żyły łokciowej, następnie zostaje przez tą osobę oddelegowana do wysłania próbki krwi do laboratorium (próbki od 3150). Wartość lokalnego wykładownika Hursta dla tych wydarzeń wzrasta od wspomnianej wartości minimalnej do wartości około $H(t) \approx 0,9$.

W dalszej kolejności Os.4 pomaga w analizie zapisu EKG, dokonuje pomiaru tętna pacjenta, następnie czeka na dalsze polecenia (próbki od 4100). Wartość wykładownika Hursta wynosi $H(t) \approx 0,9$. Następnie, w momencie, w którym pacjent robi się coraz bardziej siny, wartość tego wykładownika spada do około $H(t) \approx 0,6$ (próbki od 6000). Następnie, gdy pacjent zaczyna robić się bardzo siny, Os.4 uczestniczy w przygotowywaniu maski krtaniowej oraz w dalszym procesie wentylacji pacjenta wraz z Os.2 (próbki od 7680). Dla tych wydarzeń wartość lokalnego wykładownika Hursta wzrasta, przekracza wartość najbardziej prawdopodobną (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,3239$ i osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,1573$ w momencie (dla próbek około 9000), gdy sinica pacjenta ustępuje na skutek wentylacji.

Os.4 do końca scenariusza uczestniczy wraz z Os.2 w procesie wentylacji płuc podczas, gdy reszta zespołu (Os.1 oraz Os.3) dokonują dalszej analizy pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla Os.4 nieznacznie spada do wartości około $H(t) \approx 1,9$ i utrzymuje się tak do końca scenariusza, z uwzględnieniem chwilowego spadku dla próbek 10 000 – 11 000, tj. dla chwil, w którym Os.1 oraz Os.3 ponownie dokonują oglądu pacjenta, zastanawiając się nad dalszym postępowaniem. Os.4 w tym momencie nadal kontynuuje wraz z Os.2 proces wentylacji pacjenta. Wartość wykładnika Hursta obniża się dla tego zdarzenia nieznacznie do wartości około $H(t) \approx 1,5$.

Scenariusz B3 - Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny

Osoba 1

W stronę osoby 1 od początku scenariusza kierowane są groźby od Os6 – znajomy pacjenta, który domaga się natychmiastowego podjęcia akcji. Po chwili, gdy Os.6 grozi zabiciem jednego członka zespołu ratowniczego, Os.1 wraz z Os.2 zakładają pacjentowi opatrunki w miejscu urazu penetrującego na lewej pachwinie pacjenta, który jest następnie uciskany przez Os.2. następnie Os.1 podłącza pacjenta do aparatur EKG. Wartość lokalnego wykładnika Hursta od początku scenariusza wynosi około $H(t) \approx 1,75$, po czym spada w skutek wymienionych zdarzeń do wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,2495$.

Wartość lokalnego wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej, do momentu, gdy Os.1 dokonuje wkłucia dożylnego u pacjenta (próbka 2610), gdzie wartość lokalnego wykładnika chwilowo wzrasta do wartości około $H(t) \approx 1,5$. Po tym zdarzeniu osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 1,0957$ w momencie, po którym stwierdzono zaburzenia krążenia obwodowego, a Os.3 poleca Os.1 podanie pacjentowi morfiny w odpowiedniej dawce.

W dalszej kolejności zespół bada stan pacjenta i decyduje się ponownie zatelefonować do Oddziału Chirurgicznego, gdzie otrzymano informację zwrotną, iż odpowiedni lekarz został już wysłany. Po chwili, od próbki 5400 chirurg pojawia się na Sali SORu, prowadzi dalsze konsultacje z zespołem. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta dla tych wydarzeń w sposób liniowy, aż do osiągnięcia wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2,2503$. Po czym spada do wartości około $H(t) \approx 1,5$ dla chirurga decyduje się wziąć pacjenta na blok operacyjny.

Osoba 2

Od początku scenariusza lokalna wartość wykładnika Hursta dla Os.2 rośnie nieznacznie w sposób liniowy od wartości minimalnej wynoszącej $H_{min}(t) = 0,64368$ do wartości około $H(t) \approx 0,9$, dla zdarzeń w których znajomi pacjenta znajdują się na Sali SORu, do momentu ich ucieczki z miejsca oraz przystąpienia zespołu do akcji ratowniczej.

Os.2 następnie uciska tętnicę udową pacjenta, na którą założony jest opatrunk, celem niedopuszczenia do dalszego krwotoku i dalszej utraty krwi przez pacjenta. Zadanie to wykonywane jest aż do końca scenariusza. Wartość lokalnego wykładnika Hursta od momentu ucieczki osób znajomych pacjenta (próbki od 1400), rośnie do wartości $H(t) \approx 1,75$, po czym oscyluje do końca scenariusza wokół wartości $H(t) \approx 1,5$, gdzie pod koniec scenariusza osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 1,9746$.

Osoba 3

Os.3 jest na Sali SORu od początku scenariusza. Po tym, gdy Os.6 zaczyna grozić zespołowi nożem, by przyspieszono akcję ratowniczą Os.3 zawiadamia policję o tym zdarzeniu, następnie rozmawia z napastnikiem, iż nie zespół nie podejmie dalszej akcji ratowniczej dopóki Os.6 nie przestanie grozić zespołowi nożem. W następnej kolejności napastnik (Os.6) łapie Os.3 za szyje, przy której trzyma ostre narzędzie i krzyczy do zespołu, by ten przystąpił jak najszybciej do akcji ratowniczej, bo zabije Os.3 (czas od 780 próbki). Po tym jak zespół przystępuje do akcji ratowniczej, po czasie odpowiadającym 1200 próbkom, napastnicy (Os.6 oraz Os.7) uciekają z miejsca zdarzenia słyszcząc nadjeżdżający patrol policji. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla tej osoby oscyluje dla tych wydarzeń wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,0617$. Wartość ta utrzymuje się do czasu odpowiadającego 2000 próbce.

Po czasie równym 2000 próbce Os.3 decyduje się, pomimo niewystarczającej analizy stanu pacjenta, na telefon do oddziału chirurgicznego, celem zakwalifikowania go na blok operacyjny, by m.in. zatamować krwawienie z lewej tętnicy udowej (szycie chirurgiczne). Chirurg dyżurny, który odbiera połączenie telefoniczne zadaje szereg pytań nt. pacjenta, następnie odmawia dalszej konsultacji, gdy pacjent nie został jeszcze prawidłowo zdiagnozowany. Os.5 analizuje w tym czasie pacjenta, potwierdza objawy wstrząsu, gdzie Os.3 przekazuje tą informację telefonicznie. Chirurg decyduje się ostatecznie wysłać specjalistę

chirurga na salę SORu, który ma przybyć za kilka minut. Wartość lokalnego wykładownika Hursta spada dla opisanych wydarzeń i osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,60054$.

W następnej kolejności Os.3 telefonuje do banku krwi, zamawia dwa opakowania krwi 0 RH⁻ oraz dwa opakowania osocza tego samego typu. Po wykonaniu połączenia telefonicznego Os.3 poleca Os.1 podanie pacjentowi morfiny w odpowiedniej dawce, po czym przystępuje do badania USG brzucha, gdzie uzyskany obraz nie wykazuje uszkodzenia wątroby czy nerek, następnie przystępując do badania kończyn dolnych, w których nie można wyczuć tętna na obu tętnicach, są zimne, blade i spocone. Wartość lokalnego wykładownika Hursta wzrasta ponad wartość najbardziej prawdopodobną $modeH(t) = 1,0617$, do wartości około $H(t) \approx 1,75$, po czym nieznacznie spada, gdy Os.3 decyduje się na ponowny telefon do Oddziału Chirurgicznego ($H(t) \approx 1,40$).

Pod koniec scenariusza na salę SORu przybywa chirurg, który prowadzi dalszy wywiad z zespołem, po czym decyduje się wziąć pacjenta na blok operacyjny. Wartość lokalnego wykładownika Hursta rośnie i osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,0248$.

Osoba 4

Os.4 jest na miejscu od początku zdarzenia. Wartość lokalnego wykładownika Hursta spada od początku scenariusza dla Os.4 od wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,2484$ do wartości około $H(t) \approx 1,00$ do momentu, w którym zespół przystępuje do akcji ratowniczej pacjenta (próbki od 840). Gdy zespół (w tym Os.4) przystępują do akcji ratowniczej, wartość lokalnego wykładownika Hursta dla tej osoby wzrasta powyżej wspomnianej wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) do około $H(t) \approx 1,50$.

Wartość ta utrzymuje się do momentu w którym Os.4 kończy osłuchiwać klatkę piersiową pacjenta, po którym nie wykonuje żadnych czynności do próbki 2100, w której to Os.5 poleca jej sporządzić jej dokument, który dostarczy wraz z próbką krwi pacjenta do laboratorium. Wartość lokalnego wykładownika Hursta spada do wartości około $H(t) \approx 0,85$, po czym chwilowo wzrasta do $H(t) \approx 1,00$.

Po sporządzeniu wspomnianego dokumentu Os.4 nie wykonuje konkretnych czynności, przygląda się poczynaniom reszty zespołu (próbki od 2400). Wartość lokalnego wykładownika Hursta osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,79292$.

W dalszej kolejności Os.4 zastanawia się nad dalszymi krokami (próbki od 2700), po czym sprawdza u pacjenta nawrót włośniczkowy (próbki od 3100). Wartość wykładnika Hursta wzrasta i oscyluje dalej wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,2484$.

Zespół zastanawia się nad dalszym postępowaniem, wykonywane jest USG brzucha, które nie wykazuje nieprawidłowości, Os.1 podaje pacjentowi morfinę. W tym momencie (od próbki 4100) stan pacjenta jest znany, znane jest także dalsza konieczność postępowania. Lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 2,00$, gdzie w dalszej kolejności, gdzie na salę SORu nie przybył jeszcze chirurg, zespół postanawia ponownie zatelefonować na oddział. Lokalna wartość wykładnika Hursta obniża się nieznacznie do wartości $H(t) \approx 1,90$ dla próbek od 4700, po czym wzrasta do wartości maksymalnej $H_{max}(t) = 2,5612$ dla 5000 próbki. Zespół dostaje informację zwrotną, iż odpowiedni chirurg został już wysłany na SOR (próbki od 4900). Dla czasu odpowiadającym próbce od 5400 chirurg przybywa na miejsce zdarzenia, po chwili scenariusz dobiera końca. Dla tych ostatnich zdarzeń wartość lokalnego wykładnika Hursta spada, osiągając dla ostatnich próbek wartości $H_{min}(t) = 1,85$.

Osoba 5

Od początku scenariusza, w której znajomy pacjenta (Os.6) grozi zespołowi nożem, wartość lokalnego wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,0532$. W dalszej kolejności Os.5 sprawdza oddech pacjenta (1290 próbka). Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości około $H(t) \approx 1,2$.

Dalej Os.5 sprawdza przytomność pacjenta, gdy okazuje się, iż pacjent jest świadomy i responsywny, przeprowadza z nim wywiad: uczulenia, obecne choroby, przyjmowane leki itp. Następnie zakłada pacjentowi maskę tlenową, wydaje polecenie Os.4 sporządzenia dokumentu na badanie morfologii krwi, sprawdza stan pacjenta, po czym stwierdza objawy wstrząsu hipowolemicznego, dalej dokonuje badania fizykalnego pacjenta – klatki piersiowej i okolicy brzucha. Zdarzenia te mają miejsca dla czasu odpowiadającego próbkom 1420 - 3150. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,75$.

Przy badaniu fizykalnym Os.5 zauważa pod drugim opatrunkiem, w okolicy lewego podżebrza, wystający kawałek sieci żołądka. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada i osiąga minimum $H_{min}(t) = 0,36436$. Po chwili, dla czasu od 3900 próbki, Os.5 kontynuuje badanie fizykalne pacjenta. Wartość lokalnego wykładnika Hursta wzrasta do $H(t) \approx 0,5$. Dla okresu 3230 – 3900, następnie gwałtownie osiąga wartość $H(t) \approx 2,00$, z wartością maksymalną $H_{max}(t) = 2,0242$. Odpowiada to zdarzeniom, w których Os.5 konsultuje z Os. 3 dalsze postępowanie, pyta Os.4 o to, czy próbka krwi do badania została wysłana. W dalszej kolejności, gdy pacjent został już zbadany, dalszym postępowaniem powinno być wysłanie pacjenta na blok operacyjny, celem zszycia tętnicy. Os. 5 sugeruje ponowny kontakt z Oddziałem Chirurgicznym. Wartość lokalnego wykładnika Hursta spada dla tego zdarzenia do wartości około $H(t) \approx 1,5$, która otrzymuje się już do końca scenariusza.

Osoba 6

Osoba 6 to znajomy pacjenta, który wraz z Os.7 przywozi go do sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Od początku scenariusza zadaniem Os.6 jest zastraszenie zespołu nożem, oraz wymuszenie szybkiego podjęcia akcji ratowniczej, bez dociekania przyczyny stanu pacjenta. Wartość wykładnika Hursta dla tej osoby oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa): $modeH(t) = 1,3233$. Osiąga wartość minimalną $H_{min}(t) = 0,97181$, w którym Os.3 zawiadamia telefoniczne policję (próbka 360). W dalszej kolejności osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,1665$, dla próbki 450, w której Os.6 grozi zespołowi nożem. Wartość wykładnika po chwili wraca ponownie do wartości najbardziej prawdopodobnej (z dystrybucji prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,3233$, gdzie Os.6 przykłada nóż do szyi Os.3 i grozi jej śmiercią, jeśli zespół nie przystąpi do akcji ratowniczej.

Osoba 7

Osoba 7 to znajomy pacjenta, który wraz z Os.6 przywozi go do sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Od początku scenariusza Os.7 uciska tętnicę swego znajomego (pacjenta). Wartość lokalnego wykładnika Hursta utrzymuje się na poziomie około $H(t) \approx 1,0$, po czym spada do wartości minimalnej $H_{min}(t) = 0,73469$, dla momentu, w którym Os.6 grozi nożem calementu zespołowi lekarzy, tym samym uniemożliwiając przekazanie informacji o stanie znajomego (pacjenta) Os.7.

Gdy Os.3 zawiadamia telefonicznie policję, wartość wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,2025$ (próbki od 360) do czasu, gdy Os.6 przykłada nóż do szyi Os.3 i żąda podjęcia akcji ratowniczej pod groźbą zabicia Os.3 (próbki od 780). Dla tego zdarzenia wartość tego wykładnika początkowo spada do wartości $H(t) \approx 0,75$, lecz po chwili, gdy Os.7 tłumaczy iż pacjent został kłyty ostrym narzędziem w okolicę pachwiny i podżebrza lewego, osiąga wartość $H(t) \approx 1,5$, a w dalszej kolejności, gdy Os.6 oraz Os.7 usłyszały nadciągający patrol policji i decydują się uciekać z miejsca zdarzenia, osiąga wartość maksymalną $H_{max}(t) = 2,2222$.

Wnioski ogólne

Wprowadzenie do formułowania wniosków

W badaniu uwzględniono sześć scenariuszy ćwiczeniowych o różnym stopniu trudność dla wykonujących ćwiczenie. Liczba osób biorących udział w scenariuszu wynosiła minimalnie cztery, bowiem w skład zespołu ratunkowego na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego podstawowo wchodziły dwie pielęgniarki (bądź pielęgniarka) oraz młodszy i starszy lekarz – kierownik SORu, którego zadaniem była dodatkowo koordynacja pracy całego zespołu. Jedynie w scenariuszy B3 „*Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny*” zespół ratunkowy składał się z pięciu osób, gdzie dodatkowa osoba pełniła funkcje lekarza.

W połowie rozpatrywanych scenariuszy dodatkowym czynnikiem zakłócającym były osoby wykonujące ćwiczenie, które symulowały członków rodziny pacjenta, występowali oni w scenariuszach A1, A2. W scenariuszu B3 dodatkowymi osobami, których zadaniem było utrudnienie w wykonywaniu czynności ratowniczych byli osoby udające znajomych młodego pacjenta. Dla każdego z tych scenariuszy liczba osób mających za zadanie utrudnienie wykonywania czynności wynosiła dwoje osób.

Zmienność lokalnego wykładnika Hursta a zachowanie członków rodziny pacjenta w scenariuszach pomiarowych

Scenariusz A1 – zatorowość płucna

W scenariuszu A1 członkowie rodziny obecni są od jego początku i pozostają na sali do jego końca. Wpływ członków rodziny można podzielić na w tym scenariuszu na cztery etapy.

W etapie pierwszym, będącym początkiem scenariusza, w którym to członkowie rodziny domagają się od pielęgniarki natychmiastowego podjęcia akcji ratunkowej, ta w następnej kolejności wzywa na salę kierownika SORu. Rodzina utrudnia wykonywanie czynności ratunkowych poprzez emocjonalne reakcje w stosunku do lekarza i pielęgniarki, tj. krzyk, szarpanie, rozmowa z pacjentką, oraz wyrażanie swych podejrzeń, co do pogorszenia stanu pacjentki. Dla obu osób (Os.5 oraz Os.6 scenariusza A1) lokalna wartość wykładnika Hursta od początku scenariusza, do momentu 304 sekundy (próbki do 1520) osiągają wartości poniżej $H(t) < 1$. Oznacza to, iż charakter generowanych sygnałów dla tak zdefiniowanego etapu ma charakter szumowy. W przypadku Os.1, która w znaczniejszy sposób utrudnia wykonywanie czynności, wartość lokalnego wykładnika Hursta spada poniżej wartości 0,5, co oznacza występowanie w generowanym sygnale tzw. antykorelacji.

W etapie drugim rodzina zostaje odciągnięta od pacjentki, a następnie jedna z osób zespołu przeprowadza wywiad z rodziną, celem uzyskania informacji o pacjencie. Od próbek 1520 do 1775 lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta ponad wartość najbardziej prawdopodobną (z rozkładu prawdopodobieństwa) i osiąga dla obu osób z rodziny wartość około $H(t) \approx 2$. Oznacza to zmianę charakteru generowanych przez te osoby sygnałów na charakter błądzenia losowego.

Trzeci etap zaczyna się momencie 468 sekundy (próbki od 1775), w którym to rodzina wyraża swoje niezadowolenie w momencie, gdy kierownik SORu, starszy lekarz dyżurny (Os.1) pyta, czy pobrana została krew pacjentki i czy wysłano ją do badań laboratoryjny. Lekarz otrzymuje odpowiedź negatywną, zespół zapomniał pobrać krwi pacjentce. W tym momencie rodzina wyraża swoje niezadowolenie krytykując otwarcie postawę lekarzy. Dla tego etapu wartość lokalnego wykładnika Hursta dla obu osób z rodziny spada z poprzednio wspomnianej wartości, do wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa). Wartość ta dla Os.5 wynosi $H(t) = 1,267$, natomiast dla Os.6 $H(t) = 1,1659$, różnica między tymi wartościami jest mało znacząca. Wartość ta utrzymuje się dla obu osób do około 535 sekundy (próbki do 2675).

Ostatni, czwarty wyróżniony etap charakteryzuje się wzrostem lokalnej wartości wykładnika Hursta, w której to dla dwóch osób z rodziny pacjentki wartość ta wzrasta i osiąga maksimum (dla Os.5: $H_{max}(t) = 2,4045$, dla Os.6 $H_{max}(t) = 3,3261$). Odpowiada to

sytuacji, w której rodzina zostaje uspokojona przez jednego ratownika z zespołu, a następnie zostaje poproszona o zajęcie miejsca z boku sali, by nie przeszkadzała w pracy zespołowi. W toku rozwoju zdarzeń scenariusza pacjentka traci przytomność, Os.2 ponownie przeprowadza wywiad z rodziną w kierunku przebytych zabiegów, operacji, czy obecnych uczuleń na środki farmakologiczne. W międzyczasie zespół rozważa dalszą metodykę postępowania, po czym decyduje się na transport pacjentki na Oddział Kardiologiczny.

W przypadku wykresu zmienności wykładnika Hursta dla osób z rodziny dostrzec można korelację wzrostu i spadku tego wykładnika w odpowiedzi na zdarzenia występujące w scenariuszu. Wartość lokalnego wykładnika spada do wartości $H(t) < 1$, gdy członkowie rodziny w sposób znaczący przeszkadzają w wykonywaniu czynności ratowniczych: poprzez utrudniony wywiad czy dostęp do pacjentki oraz rozproszenie w postaci wypowiadanych słów. Natomiast, gdy ich ingerencja w działanie zespołu jest mniejsza i ogranicza się jedynie do jednego czynnika (w opisywanym przypadku trzeci etap), jak rozproszenie krzykiem, czy wypowiadanymi słowami, to zaobserwować można spadek wartości wykładnika Hursta do wartości $H(t) \approx 1,1$. Z kolei obserwowane wzrosty wartości wykładnika Hursta występują w sytuacji, gdy członkowie rodziny odciągani są od członków zespołu ratowniczego w ten sposób, iż nie ingerują w wykonywanie zadań, gdy odpowiednio wydelegowana osoba z zespołu przeprowadza z nimi wywiad nt. historii chorób i podjętego leczenia pacjentki, czy gdy osoby te są uspokajane i odsyłane na miejsce z dala od podejmowanej akcji ratowniczej. Wartości wykładnika Hursta przyjmują wtedy wartości $H(t) > 2$.

Scenariusz A2 – zawał ściany przedniej serca

W przypadku scenariusza A2 „Zawał ściany przedniej serca”, osoby z rodziny pacjenta nie są obecne od początku akcji ratunkowej. Rodzina zjawia się na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego po 263 sekundach, co zgodnie z częstotliwością próbkowania 5Hz odpowiada czasowi od 1315 próbki od początku scenariusza. Podobnie jak w poprzednim przypadku występują dwie osoby z rodziny pacjenta, których wykresy zmienności lokalnego wykładnika Hursta dla skali 1024 są do siebie bardzo podobne, gdzie wyróżnić można kilka etapów.

W etapie pierwszym wyróżnić można liniowy wzrost wykładnika Hursta od wartości minimalnych dla każdej z osób z rodziny pacjenta (Os.5 oraz Os.6) $H_{min} \approx 0,01$ i odpowiednio $H_{min} \approx 0,15$, co odpowiada występowaniu antykorelacji w generowanych sygnałach. Pierwszy

etap dotyczy przedziału zdarzeń 8 – 17 (patrz tabela zdarzeń scenariusza A1 oraz wykresy zmienności wykładnika Hursta dla tego scenariusza). Dla zdarzeń tych rodzina pojawia się na miejscu zdarzenia, podbiega do pacjenta, przy którym pracuje zespół ratowniczy, po chwili zostaje odciągnięta przez jednego z lekarzy (Os.4). Jednak członkowie rodziny, wobec braku poinformowania o stanie pacjenta, ponownie próbują skontaktować się z nim, a także przeszczadzają pracującego zespołu, celem uzyskania informacji. W momencie, w którym rodzina po raz trzeci próbuje uzyskać informację o stanie pacjenta i przeszczadza w wykonywaniu czynności, zostaje odciągnięta przez jednego z członków zespołu ratowniczego (Os.1), która informuje o wstępny rozpoznaniu stanu pacjenta, a także przeprowadza wywiad z rodziną, celem uzyskania informacji o przeszłym stanie pacjenta, tj. przebyte choroby, operacje czy zabiegi. Lekarz poleca rodzinie, by ta nie ingerowała dalej w działania zespołu, oraz czekała na dalsze informacje. Wartość wykładnika Hursta dla obu osób z rodziny pacjenta rośnie do wartości maksymalnej wynoszącej odpowiednio $H_{max} \approx 3,6$ dla Os.5 oraz $H_{max} \approx 5,2$ dla Os.6.

W drugim etapie członkowie rodziny nie przeszczadzają zespołowi ratownicemu, co odpowiada zdarzeniom 17-19. Wartość wykładnika Hursta dla Os.5 utrzymuje się wokół jej wartości maksymalnej, a dla Os.6 spada niewiele z $H_{max} \approx 5,2$ do poziomu około $H \approx 4,0$.

Etap trzeci dotyczy zdarzeń od 19 do 22, w których to rodzina usłyszała diagnozę lekarza, iż pacjent ma zawał ściany przedniej serca, ponownie wkracza na miejsce wykonywania czynności ratunkowych. Jednak Os.3 z zespołu natychmiastowo odciąga rodzinę od miejsca wykonywania czynności ratunkowych. W następnej kolejności pacjentowi t Wartość lokalnego wykładnika Hursta obniża się w obu przypadkach (Os.5 oraz Os.6): dla Os.5 z wartości maksymalnej $H_{max} \approx 3,6$ do $H \approx 2,5$, z kolei dla Os.5 z wartości $H_{max} \approx 5,2$ do $H \approx 3,8$.

Etap czwarty dotyczy zdarzeń 22 – 28. Dla tych zdarzeń pacjent wyraża zgodę na inwazyjne zabieg koronarografii, lekarz ponownie wykonuje połączenie telefonicznie do Oddziału Kardiologicznego, a po chwili rodzina podbiega do pacjenta i zespołu, który nadal opiekuje się pacjentem. W przebiegach zmienności lokalnej wartości wykładnika Hursta zauważać można ponownie jej spadek. W przypadku Os.5 następuje spadek do wartości $H \approx 2,0$, z kolei dla Os.6 wartość ta spada do wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,365$. Po czym następują niewielkie wzrosty odpowiednio dla Os.5 i Os.6 do $H \approx 3,0$ oraz

$H \approx 2,0$ dla końcowego etapu (zdarzenie od 26), w którym to rodzina dowiaduje się, iż pacjent zostanie przetransportowany na Oddział Kardiologiczny.

Wpływ obecności rodziny na działania zespołu ratowniczego

W dwóch scenariuszach A1 – „*zatorowość płucna*” oraz A2 - „*zawał ściany przedniej serca*” na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego obecni są członkowie rodziny. Innymi słowy na sali przebywa pacjent oraz zespół ratowniczy, w którego skład wchodzą dwie pielęgniarki oraz młodszy i starszy lekarz dyżurny, gdzie ten ostatni jest koordynatorem podejmowanych działań. Dodatkowym elementem scenariusza jest dwoje członków rodziny pacjenta, których zadaniem jest utrudnianie pracy zespołowi poprzez próbę kontaktu z pacjentem oraz zadawanie pytań zespołowi ratującemu.

W poprzednim podpunkcie zanalizowano zmienność lokalnych wykładników Hursta osób z rodziny w odpowiedzi na ich zachowanie, czy stopień ingerencji w działania zespołu ratowniczego. Niniejszy punkt stanowi próbę scharakteryzowania scenariuszy pod względem braku lub obecności członków rodziny w danym momencie scenariusza i charakteru ich wpływu na zachowania oraz dalsze postępowanie zespołu ratowniczego.

Przy rozpatrywaniu wpływu członków rodziny, których zadaniem w każdym ze skonstruowanych scenariuszy jest wprowadzenie istotnego elementu rozpraszającego, istotne jest określenie, czy rodzina została odciągnięta od zespołu przez jedną z osób, od której osoba z zespołu próbowała uzyskać informacje nt. stanu pacjenta i czy ta osoba wykonywała konkretną czynność, bądź w danym momencie nie podejmowała żadnej akcji.

A1 – zatorowość płucna

Osoba 1

Os.1 to starszy lekarz, kierownik Szpitalnego Oddziału Ratunkowego, którego zadaniem, oprócz prowadzenia akcji ratowniczej, jest koordynowanie akcji ratowniczej, jednak Os.3 w scenariuszu przejmuje dowodzenie nad zespołem od momentu pojawienia się na sali SORu. Osoba ta pojawia się w scenariuszu po 5,2 sekundy, co odpowiada przesunięciu w liczbie 26 próbek, co nie stanowi dużego przesunięcia, które należałyby wziąć pod uwagę w porównywaniu wykresów zmienności dla rodziny i Os.1.

Porównując wykresy zmienności wykładowników Hursta dla Os.1 oraz osób z rodziny zauważać można pewne podobieństwo, w związku z tym także i dla tej osoby wydzielono pewne segmenty w przebiegu zmienności tego wykładownika.

Dla segmentu pierwszego, który odpowiada zdarzeniom 1-5 Os.1 zostaje wezwana na miejsce zdarzenia, próbuje ocenić stan pacjentki, jednak obecność rodziny oraz jej postępowanie uniemożliwiają dokładną ocenę, Os.1 następnie odciąga rodzinę od zespołu ratowniczego. Wartość lokalnego wykładownika Hursta oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 1,5$, gdzie osiąga następnie wartość minimalną $H(t)_{min} = 1,267$.

Dla kolejnego segmentu Os.1 poleca Os.2 dalszy kontakt z rodziną, po czym wraca do akcji ratowniczej. Wartość wykładownika Hursta wzrasta do $H(t) \approx 2,0$. Dla zdarzenia 6 wartość wykładownika Hursta obniża się do poziomu $H(t) \approx 1,7$ i utrzymuje się do zdarzenia 7.

Dalej, dla kolejnego segmentu, od zdarzenia 7 do 13, dla którego na początku Os.1 analizuje zapis EKG pacjenta i stwierdza jego poprawność, przy braku dalszego wpływu rodziny wartość wykładownika Hursta wzrasta do poziomu około $H(t) \approx 2,5$ i utrzymuje się do końca scenariusza w przypadku braku interferencji rodziny w działania zespołu.

Osoba 2

Osoba 2 to pielęgniarka, której zadaniem nie jest prowadzenie bezpośredniej akcji ratowniczej, lecz postępowanie zgodnie z poleceniami lekarzy dyżurnych oraz wykonywanie prostych czynności ratowniczych.

Od zdarzeń 1 – 2 wartość lokalnego wykładownika Hursta początkowo rośnie, od wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) \approx 1,983$ do $H(t) \approx 1,5$. Pielęgniarka wzywa na miejsce zdarzenia lekarza, co jest jej obowiązkiem, a następnie ten wzywa dodatkowe osoby do pomocy. Wartość wykładownika następnie spada dla zdarzeń 2-5, gdzie osiąga swoje minimum $H(t)_{min} = 1,111$.

Dla zdarzeń 5 oraz 6 lekarz dyżurny poleca, by Os.2 przejęła kontakt z rodziną tak, by zebrać niezbędny wywiad dotyczący pacjenta oraz uspokoić członków rodziny, by nie ingerowali w zadania zespołu. Wartość wykładownika Hursta wzrasta od wspomnianej wartości minimalnej i osiąga wartość maksymalną $H(t)_{max} = 2,4257$.

Następnie wartość tego wykładownika oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 2,0$ do zdarzenia 8. W dalszym etapie scenariusza rodzina nie przeszkadza w wykonywaniu czynności ratunkowych – nie interferuje z działaniami zespołu, wartość wykładownika obniża się natomiast do wartości $H(t) \approx 1,5$.

Osoba 3

To młodszy lekarz dyżurny, który pojawia się na sali SORu po 2 minutach oraz 23 sekundach, co odpowiada przesunięciu względem tabeli zdarzeń o 715 próbek. Os.3 od momentu pojawienia się na sali i zapoznaniu się z sytuacją pacjentki przejmuje kontrolę nad dowodzeniem zespołu ratowniczego.

Od zdarzeń 4 do 6 członkowie rodziny przeszkadzają w wykonywaniu zadań krzycząc do zespołu lekarzy, utrudnia to tym samym Os.3 koordynowanie działań zespołu. Dla tych zdarzeń wartość lokalnego wykładownika Hursta spada od wartości $H(t) \approx 1,5$, do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 1,3693$, po czym nieznacznie wzrasta dla zdarzenia 6 ($H(t) \approx 1,5$).

W toku rozwoju wydarzeń Os.2 uspokaja rodzinę, poleca jej nie przeszkadzać w wykonywaniu akcji ratowniczej. Dla tego okresu: rozpoznanie stanu pacjentki i ustalenie dalszego postępowania oraz wdrożenia tego działania można wyróżnić dwa segmenty, które opisane zostaną w dalszych punktach, gdyż ich zmienność nie występuje w trakcie obecności rodziny. Zaznaczyć jednakże należy, iż wartość wykładownika Hursta utrzymuje się w segmentach dla zdarzeń 6 – 10 wokół $H(t) \approx 1,6$, po czym dla zdarzeń 10 – 13 przyjmuje wartość $H(t) \approx 2,0$.

Osoba 4

Os.4 to pielęgniarka, który pojawia się na sali SORu po 2 minutach oraz 23 sekundach, co odpowiada przesunięciu względem tabeli zdarzeń o 715 próbek. Os. 4 nie jest bezpośrednio narażona na zakłócający wpływ rodziny, gdyż nie kieruje pracą zespołu, a także nie prowadzi wywiadu z rodziną, czy próbuje odciągnąć ją od zespołu.

Dla zdarzeń 3-4, gdy Os.4 zapoznaje się z sytuacją pacjentki, a następnie zakłada jej wkłucie dożylne w dole łokciowym prawym, gdzie rodzina zostaje już odciągnięta przez Os.1 od zespołu ratowników. Wartość wykładownika Hursta od początku pojawienia się Os.4 na miejscu zdarzenia utrzymuje się na stałym poziomie $H(t) \approx 1,5$. Po wystąpieniu zdarzenia 6,

gdzie po tym jak Os.4 zapomniała pobrać próbki krwi na badanie morfologiczne, rodzina krytykuje postawę zespołu, w tym Os.4. Wartość wykładownika Hursta osiąga wartość minimalną $H(t)_{min} = 1,1773$, po czym, gdy rodzina zostaje poproszona o zachowanie spokoju przez Os.2 i zespół podejmuje dalsze czynności ratunkowe (zdarzenia od 7 do 12) wartość ta ponownie wokół wartości $H(t) \approx 1,6$.

Można także wyróżnić dalszy segment, występujący dla zdarzeń 12 – 13, w którym to wartość wykładownika Hursta gwałtownie rośnie, osiągając wartość maksymalną, $H(t)_{max} = 3,9836$, jednak od zdarzenia 7 rodzina nie ma dalszego wpływu na wykonywanie czynności ratowniczych. Segment ten zostanie opisany w osobnym, dalszym punkcie w związku z problematyką stanu pacjenta.

A2 – zawał ściany przedniej serca

Osoba 1

Osoba 1 to pielęgniarka będąca na miejscu zdarzenia od początku scenariusza. Zadaniem jej jest realizowanie podstawowych zabiegów, lecz przede wszystkim wykonywanie poleceń, które wyda jeden z lekarzy dyżurnych.

Warto zwrócić uwagę na zdarzenia poprzedzające pojawienie się rodziny na sali SORu: zdarzenia od 1 do 7. Wartość wykładownika Hursta wzrasta początkowo od wartości $H(t) \approx 1,6$ do wartości $H(t) \approx 2,0$, po czym opada, do wartości najbardziej prawdopodobnej z (rozkładu prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,156$).

W toku rozwoju scenariusza dla zdarzenia 8 na sali SORu pojawia się rodzina, która zostaje natychmiastowo odciągnięta od zespołu, gdzie Os.1 kontynuuje pomiar ciśnienia krwi tętniczej pacjenta. Nie zaobserwowano wpływu rodziny na wykres zmienności wykładownika Hursta dla tego zdarzenia.

Dla zdarzenia 11, gdzie rodzina pacjenta ponownie próbuje dotrzeć do pacjenta, zostaje następnie odciągnięta przez Os.4. Os.1 kontynuuje pomiar ciśnienia krwi tętniczego.

Dla zdarzenia 14 trwającego do zdarzenia 18 pielęgniarka (Os.1) wykonała już pomiar ciśnienia tętniczego krwi, pozostając tym samym bez wyraźnych poleceń lekarzy. W tym momencie na salę ponownie wkraczają członkowie rodziny domagając się kontaktu z pacjentem. Os.1 odciąga rodzinę na pobocze, a następnie przeprowadza wywiad na temat

historii chorób pacjenta oraz ewentualnych uczuleń. Wartość wykładnika Hursta rośnie liniowo od wartości $H(t) \approx 1,5$ do $H(t) \approx 2,0$.

W momencie zdarzenia 19, rodzina usłyszała diagnozę lekarza o zawale serca pragnie skontaktować się z pacjentem, tym razem Os.3 zajmuje się zespołem, natomiast Os.1 kontynuuje wykonywanie obowiązków. Po zajściu zdarzenia 20 sprawdza tętno na tętnicach udowych pacjenta, jej działanie jest niezakłócone przez wpływ rodziny. Wartość wykładnika Hursta osiąga wartość maksymalną $H(t)_{max} = 2,2672$.

Dla zdarzeń 21 – 23 zaobserwować można spadek do wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,156$, lecz nie jest to związane z wpływem rodziny lecz z diagnostyką pacjenta i uzyskaniem zgody na wykonanie inwazyjnego zabiegu. Wpływ ten analizowany będzie w osobnym punkcie. Natomiast dla zdarzeń 24 -25, gdzie Os.1 próbuje uzyskać zgodę pacjenta na badanie na salę wkracza ponownie rodzina, która podchodzi bezpośrednio do Os.1 zadając jej pytania o dalsze postępowanie z pacjentem. Wartość wykładnika Hursta ponownie oscyluje wokół $modeH(t) = 1,156$. Dla zdarzeń 26 – 28 Os.1 nie otrzymuje żadnych poleceń od lekarza, wartość wykładnika Hursta utrzymuje się na poprzednim poziomie i dalej osiąga wartość minimum $H(t)_{min} = 1,0612$.

Osoba 2

Osoba 2 to lekarz dyżurny, który został wezwany na miejsce zdarzenia po 66 sekundach, co odpowiada przesunięcie o 330 próbki względem tabeli zdarzeń dla tego scenariusza.

Postępowanie lekarza oraz odpowiadająca zmiana wykładnika Hursta została opisana w punkcie *analiza szczegółowa otrzymanych wyników*. Pojawienie się rodziny na sali SORu, co odpowiada zdarzaniu 8, nie wpływa w istotny sposób na zachowanie lekarza(Os.2), gdyż Os.4 z zespołu natychmiastowo odciąga rodzinę od pacjenta uniemożliwiając utrudnianie wykonywania czynności zespołowi. Wartość wykładnika Hursta przed zajściem tego zdarzenia wynosi około $H(t) \approx 1,6$, natomiast po $H(t) \approx 1,5$.

Z kolei dla zdarzenia 11 członkowie rodziny ponownie wkraczają na miejsce wykonywania czynności ratowniczych, przy czym zwracają się bezpośrednio do Os.2 z prośbą o udzielenie informacji nt. pacjenta. Jednak także tym razem Os.4 odciąga po kilku sekundach

członków rodziny od zespołu, który diagnozuje pacjenta. Wartość wykładownika Hursta dla tego zdarzenia utrzymuje się na stałym poziomie $H(t) \approx 1,5$.

Dalej dla zdarzenia 14, gdzie członkowie rodziny ponownie wkraczają salę SORu, wartość wykładownika Hursta dla Os.2 spada od wartości $H(t) \approx 1,5$ do wartości $H(t) \approx 0,9$. Rodzina zostaje odciągnięta dopiero chwili przez pielęgniarkę (Os.1). W dalszej kolejności Os.2 wydaje polecenia dotyczące wykonania badania EKG dwunastoodprowadzeniowego, a następnie po wykonaniu dokonuje jej analizy i dalszego postępowania, przy czym nie występuje już dla zdarzeń tych (15 – 19) wpływ rodziny. Wartość wykładownika Hursta rośnie od wartości poprzedniej $H(t) \approx 0,9$ do $H(t) \approx 1,2$.

W momencie wystąpienia zdarzenia 19, rodzina ponownie próbuje skontaktować się z pacjentem słysząc, iż zdiagnozowano u niego zawał przedniej ściany serca. Wartość wykładownika Hursta dla Os.2 spada dla tego zdarzenia do około $H(t) \approx 0,6$. Po czym osiąga minimum dla zdarzenia 20, które nie jest związane bezpośrednio z wpływem rodziny. Os.2 telefonuje bowiem na Oddział Kardiologiczny, który odmawia przyjęcia pacjenta, gdyż nie dokonano pełnej kwalifikacji pacjenta koniecznej do przejęcia pacjenta przez ten oddział.

W następnej kolejności dopiero dla zdarzenia 24 rodzina ponownie pragnie skontaktować się z pacjentem oraz dowiedzieć o jego stanie – w tym celu wkracza na salę ratunkową. Dla tego zdarzenia Os.2 przeprowadza rozmowę telefoniczną z Oddziałem Kardiologii, a informacji rodzinie udziela Os.1. Nie występuje więc wpływ rodziny na zachowanie tego ratownika. Wartość wykładownika Hursta pozostaje niezmienna w porównaniu do zdarzenia poprzedzającego i wynosi $H(t) \approx 2,0$.

Osoba 3

Osoba 3 to pielęgniarka, która pojawia się na Sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego dla zdarzenia nr 4. Dalej, w wyniku pojawienia się rodziny pacjenta na sali SORu dla zdarzenia 8, wartość wykładownika Hursta spada od wartości $H(t) \approx 1,5$ do $H(t) \approx 1,1$. Członkowie rodziny zostają jednak odciągnięci z miejsca zdarzenia przez Os.4.

Po chwili jednak, dla zdarzenia 11, Os.5 oraz Os.6 z rodziny pacjenta ponownie przeszkladzają zespołowi ratowniczemu wykonywania zadań. Wartość wykładownika Hursta dla

tego zdarzenia przyjmuje wartość minimalną $H(t)_{min} = 1,0201$. Os.4 z zespołu jednakże ponownie odciąga rodzinę, by ta nie przeszkadzała w wykonywaniu czynności ratowniczych.

Kolejno dla zdarzenia 14 rodzina po raz kolejny usiłuje dowiedzieć się o stanie pacjenta przeszczekując zespołowi w wykonywaniu czynności ratowniczych, zostaje odciągnięta przez Os.1 od miejsca zdarzenia. Wartość wykładowca Hursta dla Os.3 wzrasta nieznacznie od osiągniętej dla poprzedniego (11) zdarzenia wartości minimalnej do wartości $H(t) \approx 1,1$.

W dalszej kolejności dla zdarzenia 15 Os.3 wykonuje polecenie Os.2 – wykonanie połączenia telefonicznego celem zamówienia badania EKG. Na sali SORu nie występuje rodzina, wartość wykładowca Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 2,0$.

Dla zdarzenia 16 wartość wykładowca Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,2$, jednak nie jest to związane z obecnością rodziny; Os.3 zostaje na pewien czas sama z pacjentem w trakcie, gdy reszta zespołu analizuje zapis EKG. Więcej nt. analizy zdarzeń scenariusza poświęcono w kolejnych podpunktach.

Wartość wykładowca Hursta wzrasta do wartości $H(t) \approx 3,1$ dla zdarzenia 19, w którym członkowie rodziny ponownie wkraczają na salę ratunkową, gdzie Os.3 odciąga członków rodziny od pacjenta. Istotnym jest zauważenie faktu, iż Os.3 nie wykonywała dla tego czasu konkretnych czynności ratowniczych, więc podjęła się tego zadania, w trakcie gdy reszta zespołu sprawdzała stan pacjenta – tępno na tętnicach udowych.

W wyniku zdarzenia 21, niezwiązanego z obecnością rodziny, wartość wykładowca Hursta spada do poziomu $H(t) \approx 2,0$. Rodzina po raz ostatni pojawia się na Sali SORu dla zdarzenia 24, jednak Os.1 przejmuje nad nią kontrolę, Os.3 kontynuuje pomiar ciśnienia tętniczego krwi pacjenta bez interferencji ze strony rodziny. Wartość wykładowca Hursta wzrasta w porównaniu do wartości sprzed zajścia zdarzenia, od $H(t) \approx 2,0$, do $H(t) \approx 2,5$.

Dla końcowych zdarzeń scenariusza (25-28), gdzie nie występuje już rodzina, a dalsze postępowanie z pacjentem, innymi słowy rozpoznanie dolegliwości i odpowiednia kwalifikacja do przyjęcia na Oddział Kardiologiczny, zostają wykonane, to wartość wykładowca rośnie, osiągając wartość maksymalną $H(t)_{max} = 3,4512$.

Osoba 4

Osoba 4 to młodsza lekarz dyżurna, która wraz z Os.3 zostaje wezwana na salę SORu w momencie zajścia zdarzenia 4.

Wartość wykładnika Hursta spada od wartości $H(t) \approx 1,0$ do wartości $H(t) \approx 0,5$. Os.4 odciąga członków rodziny od miejsca wykonywania czynności ratunkowych przez zespół, jednak po chwili, dla zdarzenia 11 członkowie rodziny ponownie wkraczają na salę. Wartość wykładnika Hursta spada do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,2731$ w wyniku zajścia tego zdarzenia. Os.4 ponownie odciąga rodzinę od zespołu, wyjaśnia konieczność nieinterferowania w podejmowane działania oraz informuje, iż zostaną poinformowani, gdy stan pacjenta będzie znany.

W dalszej kolejności, dla zdarzenia 13 Os.4 zostaje poproszona przez kierownika SORu (Os.2) o pobranie próbki krwi oraz wykonanie morfologii. Dla zdarzenia 14 rodzina ponownie próbuje przeszkodzić w pracy zespołowi ratowniczemu, jednakże dla tego zdarzenia Os.1 przejmuje nad nimi kontrolę, co pozwala Os.4 wykonywać powierzone obowiązki. Wartość wykładnika Hursta wzrasta od wspomnianej wartości minimalnej, do wartości $H(t) \approx 1,9$, która utrzymuje się aż do zdarzenia 22. Wpływ obecności rodziny jest minimalizowany przez inne osoby z zespołu, Os.4 wykonuje szereg czynności: pobiera pacjentowi próbki krwi na badania, którą wysyła do laboratorium, analizuje wykonany dwunastoodprowadzeniową zapis EKG pacjenta, wykonuje połączenie telefoniczne z Oddziałem Kardiologii, a następnie sprawdza obecność tętna na kończynach dolnych pacjenta. Jej postępowanie jest niezakłócone wpływem rodziny.

Dla zdarzeń od 23 do końca scenariusza (zdarzenie 28) wartość wykładnika Hursta wzrasta i osiąga maksimum $H(t)_{max} = 4,1787$, po czym utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 4,0$. Pomimo ponownego wkroczenia rodziny na salę (zdarzenie 24) Os.4 kontynuuje diagnozę pacjenta oraz konsultuje z zespołem dalsze postępowanie, czekając na przyjazd zespołu z Oddziału Kardiologii, gdzie Os.1 odciąga rodzinę od zespołu umożliwiając mu niezakłóconą pracę.

Zmienność lokalnego wykładownika Hursta a agresywność zachowania osób postronnych – scenariusz B3

W scenariuszu #B3: *Uraz penetrujący – krwotok zewnętrzny* elementem utrudniającym rozpoznanie stanu pacjenta, czy podjęcie adekwatnych działań jest obecność agresywnych osób postronnych, którzy wg założeń scenariusza są znajomymi pacjenta. Ich zadaniem jest szcątkowe przekazanie informacji o pacjencie i agresywne żądanie podjęcia natychmiastowej akcji ratowniczej, poprzez groźbę ostrym narzędziem jednej z osobie zespołu. Osoby te w scenariuszu #B3 oznaczone Os.6 oraz Os.7 pojawiają się na sali SORu odpowiednio po 11 i 10 sekundach od rozpoczęcia scenariusza.

Osoba 6

Osoba 6 po wprowadzeniu na salę SORu pacjenta i dalszej krótkiej charakterystyce jego stanu zdanej zespołowi ratowniczemu przez Os.7 zachowuje się agresywnie, grożąc zespołowi ostrym narzędziem. Zdarzenie 1 odpowiada tej sytuacji, gdzie wartość wykładownika Hursta dla Os.6 spada od wartości $H(t) \approx 2$, do wartości $H(t) \approx 1,30$ dla końca tego zdarzenia, w którym ta osoba ta jest agresywna.

Dla zdarzenia 2 wyróżnić można trzy podpunkty *a*, *b* oraz *c*, zaznaczone na wykresach. Dla podpunktu *a* tego zdarzenia Os.6 grozi otwarcie zespołowi nożem, po tym, gdy Os.3 zdążyła zawiadomić policję o zajściu. Zespół jest sparaliżowany - nie wykonuje czynności nad pacjentem. Wartość lokalnego wykładownika Hursta dla Os.6 spada i osiąga wartość minimalną $H(t)_{min} = 1,0026$.

Dla podpunktu *b* tego zdarzenia Os.6, w obliczu przerwania przez zespół ratowniczy rozpoznania stanu i leczenia pacjenta, zastanawia się nad dalszym postępowaniem. Sytuacja wygląda następująco: cały zespół ratowniczy odsunął się od pacjenta oraz od Os.6, która trzyma w ręku ostre narzędzie, gdzie Os.6 stoi na środku Sali obok pacjenta. Wartość wykładownika Hursta dla tego zdarzenia wzrasta od wspomnianej wartości minimalnej i osiąga wartość maksymalną $H(t)_{max} = 2,1972$.

Z kolei dla podpunktu *c*, Os.6 w momencie gdy zespół odmówił dalszego zajęcia się pacjentem, podchodzi do Os.7, gdzie prowadzą ze sobą krótką rozmowę, po czym następuje zdarzenie 3, w którym to Os.6 grozi bezpośrednio Os.3 śmiercią, przykładając nóż do szyi. Dla

podpunktu *c* wartość wykładnika Hursta spada do wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa) $modeH(t) = 1,3353$.

W momencie zajścia zdarzenia 3, dla którego Os.6 przykłada nóż do szyi Os.3 i grozi zabiciem jej, jeśli zespół nie rozpocznie akcji ratowniczej, wartość wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,1$.

Dalej dla zdarzenia 4 zespół przystępuje do akcji ratowniczej pacjenta (poza Os.3), Os.6 nadal grozi Os.3 śmiercią trzymając nóż przy jej szyi. Dla końcowego odcinka zdarzenia 4 Os.6 oraz Os.7 słysząc nadjeżdżającą policję uciekają z miejsca zdarzenia. Wartość lokalnego wykładnika Hursta dla tego zdarzenia zmienia się dwustopniowo. Z początkiem rośnie i utrzymuje się wokół wartości $modeH(t) = 1,3353$, co odpowiada sytuacji, gdy zespół przystąpił do akcji ratowniczej. Dla dalszego fragmentu, w którym Os.6 oraz Os.7 słyszą nadjeżdżający radiowóz policji wartość tego wykładnika wzrasta do $H(t) \approx 1,75$.

Osoba 7

W przeciwnieństwie do Os.6 nie zachowuje się agresywnie. Przez zdarzenia 1-3 uciska tężnice znajomego przyprowadzonego na salę SORu – pacjenta.

Dla zdarzenia 1 opisanego Os.7 krótko przedstawia sytuację pacjenta, jednak przestaje w momencie, gdy Os.6 grozi zespołowi nożem. Wartość wykładnika Hursta spada od wartości $H(t) \approx 1,0$ do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,73469$ dla tego zdarzenia.

Dla zdarzenia 2, w którym to Os.7 uciska tężnice pacjenta, w trakcie gdy Os.6 wykonuje wspomniane w poprzednim podpunkcie czynności wartość wykładnika Hursta fluktuje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,2025$.

W momencie zajścia zdarzenia 3, gdzie Os.7 przykłada nóż do szyi Os.3, Os.6 także krzyczy do zespołu, by ten zaczął akcję ratowniczą. Wartość wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 0,8$.

Dla zdarzenia 4, w którym zespół przystępuje do akcji ratowniczej wyróżnić można dwa etapy. Dla pierwszego z nich wartość wykładnika wzrasta od $H(t) \approx 0,8$ do $H(t) \approx 1,4$, w którym to zespół przystąpił do akcji ratowniczej. Dla drugiego natomiast, w momencie w którym Os.6 oraz Os.7 słyszą nadjeżdżający radiowóz policji i decydują się na ucieczkę z miejsca zdarzenia, wartość wykładnika Hursta wzrasta do wartości

maksymalnej $H(t)_{max} = 2,2222$, po czym spada gwałtownie dla ostatnich sekund scenariusza do wartości $H(t) \approx 0,9$.

Wpływ osób postronnych na działania zespołu ratowniczego

Rozpatrując wartości wykładników Hursta dla członków zespołu w scenariuszu B3 w odpowiedzi na obecność i działania osób postronnych (Os.6 oraz Os.7) także można zaobserwować pewne prawidłowości.

W przypadku Os.1 obserwujemy w przybliżeniu liniowy spadek wykładnika Hursta dla zdarzeń 2-4, od wartości $H(t) \approx 1,75$, do $H(t) \approx 1,3$. Odpowiada to sytuacji, w której Os.1 a także cały zespół nie wykonują czynności ratowniczych wobec pacjenta, a następnie przystępują do rozpoznania jego stanu pod wpływem czynników stresowych. Dla dalszych zdarzeń 5-6, gdzie Os.1 zakłada pacjentowi opatrunki w miejscu przecięcia tętnicy udowej, oraz ucieczki z sali SORu Os.6 oraz Os.7 wartość tego wykładnika rośnie do $H(t) \approx 1,5$.

W przypadku Os.2 wartość wykładnika Hursta dla zdarzeń 2-6 osiąga początkowo wartość minimum $H(t) \approx 0,63$, po czym po zdarzeniu 3, gdzie Os.3 grożono nożem, wartość wykładnika Hursta dla Os.2 wzrasta. Wzrost ten, od $H(t) \approx 0,65$ do $H(t) \approx 0,85$, następuje w momencie przystąpienia zespołu do akcji ratowniczej i utrzymuje się do końca zdarzenia 6, kiedy to Os.6 oraz Os.7 opuszczają salę SORu. Wartość wy

Rozpatrując odpowiedź Os.3 na zdarzenia związane z osobami postronnymi należy zauważać wzrost wykładnika Hursta do wartości $H(t) \approx 1,1$ w momencie zajścia zdarzenia 2 gdzie Os.3 reaguje na daną sytuację zawiadamiając policję. W momencie zajścia zdarzenia 3, gdzie Os.6 przykładą Os.3 nóż do szyi grożąc jej śmiercią i żądając natychmiastowego podjęcia akcji ratowniczej wobec pacjenta, wartość wykładnika Hursta dla tej osoby spada do wartości poniżej $modeH(t)$, która wynosi $H(t) \approx 0,85$. Osoba 3 dla tego zdarzenia nie mogła wykonywać obowiązków ratownika. Dla zdarzenia 4, gdzie zespół (poza Os.3) przystępuje do akcji ratowniczej wartość wykładnika początkowo pozostaje bez zmian w stosunku do poprzedzającego zdarzenia, jednak po chwili rośnie do wartości $H(t) \approx 1,5$, gdzie Os.3 wydaje polecenia zespołowi nie mogąc jednocześnie sama wykonywać czynności ratunkowych. Dalsza analiza zachowania Os.3 nie jest związana z wpływem osób postronnych, a ewolucją rozpoznania sytuacji pacjenta i postępowania. Zostanie opisana w osobnym, dalszym punkcie.

W przypadku Os.4 wartość wykładnika Hursta dla zdarzenia 3 maleje od $H(t) \approx 1,4$ do $H(t) \approx 1,1$. Dla zdarzenia 4, w którym zespół przystępuje do akcji ratowniczej, początkowo zapoznając się z sytuacją pacjenta pod wpływem czynnika stresowego, wartość wykładnika Hursta maleje poniżej wartości $modeH(t) = 1,0803$ do około $H(t) \approx 0,95$. Dla dalszego rozwoju zdarzeń (5-6) wartość tego wykładnika rośnie osiągając $H(t) \approx 1,35$.

W przypadku Os.5 dla zdarzenia 3 wartość wykładnika utrzymuje się poniżej $modeH(t) = 1,0786$ około $H(t) \approx 1,0$. W momencie przystąpienia zespołu do akcji ratowniczej pod wpływem czynnika stresowego wartość wykładnika spada do $H(t) \approx 0,75$, by w połowie tego zdarzenia ponownie wzrastać, gdzie dla zdarzenia 5 osiąga wartość $H(t) \approx 1,4$, dla 6 natomiast $H(t) \approx 1,15$.

Podsumowując rozpatrywane osoby, zarówno z zespołu jak i osób postronnych, stwierdzić można występowanie pewnych korelacji ze zdarzeniami występującymi w scenariuszu. W przypadku zespołu ratowniczego, dla rozpatrywanego okresu czasu do zdarzenia 6, zaobserwować można względne spadki wartości wykładników Hursta w momencie, gdy zespół przystępuje do akcji ratowniczej pod wpływem czynnika stresogennego, który odpowiada początkowi (bądź pierwszej połowie) zdarzenia 4. W momencie zdarzenia 6, gdy osoby postronne (Os.6 oraz Os.7) uciekają z miejsca zdarzenia, zaobserwować można dla osób z zespołu wzrost wykładnika Hursta.

Wpływ stanu pacjenta, jego diagnozy i zmiany stanu na działania zespołu ratowniczego

Niniejszy punkt jest próbą ustalenia, bądź stwierdzenia występowania korelacji w związku ze zmianami stanu pacjenta – jego pogorszeniem lub poprawą, a zachowaniem zespołu ratowniczego, który tworzą dwa zespoły: pielęgniarek oraz lekarzy.

Scenariusz B1 – ostry zespół wieńcowy, diagnostyka i leczenie

Scenariusz rozpatrywany jest pod kątem wpływu zmiany stanu pacjenta na działania zespołu ratowniczego zdefiniowane w tabeli zdarzeń opisu scenariusza #B1, a także wygenerowanych szeregów czasowych analizowanych metodą MFDFA.

Scenariusz został skonstruowany tak, iż w początkowym etapie scenariusza, niezależnie od podjętych działań przez zespół stan pacjenta pogarsza się stopniowo. W scenariuszu nie

występuje rodzina pacjenta, udział w scenariuszu biorą więc cztery osoby, stanowiące podstawowy zespół, którego skład opisano w poprzednich punktach.

Zespół lekarzy

Rozpatrzmy na początek skład lekarzy: Os.1 będąca jednocześnie kierowniczką Szpitalnego Oddziału Ratunkowego, której zadaniem jest koordynacja zespołu, oraz Os.4 która jest młodszą lekarz dyżurną, której zadaniem jest nie tylko wykonywanie poleceń Os.1, ale także konsultacja w postępowaniu z pacjentem, wysuwanie własnych propozycji dotyczących dalszych zabiegów wobec pacjenta.

Rozpatrując zmienności wykładników Hursta dla tych dwóch osób można zaobserwować globalny (dla całego przebiegu zmienności) trend w postaci liniowo rosnącej zależności.

W przypadku Os.1 od początku scenariusza obserwujemy wartości wykładników Hursta poniżej wartości $modeH(t) = 1,1456$, a także $H(t) < 1,0$, które dla zdarzeń 7-12 rosną od wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,68686$, dla końca zdarzenia 12 otrzymując wspomnianą wartość $modeH(t)$. Dla zdarzenia 15 Os.1 wykonuje połączenie na Oddział Kardiologiczny szpitala, gdzie pacjent nie przeszedł badania dwunastoodprowadzeniowym EKG, co jest jednym ze wskazań mających kwalifikować go do przyjęcia na oddział. Dla dalszych zdarzeń 15-20 wartość wykładnika Hursta spada do wspomnianej wartości $modeH(t)$, gdzie Os.1 zamówiła badanie EKG, technik wykonał i dostarczył wynik badania zespołowi, dokonano jego interpretacji. Dla zdarzenia 21 Os.1 ponownie telefonuje do oddziału kardiologii, dla tego zdarzenia wartość wykładnika Hursta rośnie osiągając wartość maksymalną $H(t)_{max} = 1,8865$. Z kolei dla zdarzenia 22, które wiąże się dla Os.1 z dalszymi pytaniami nt. stanu pacjenta zadawanymi przez lekarza kardiologa (występowanie tętna czy obrzęków na kończynach dolnych), na które osoba ta nie zna odpowiedzi, a reszta zespołu jest w trakcie sprawdzania wspomnianych oznak, wartość wykładnika Hursta spada $H(t) \approx 1,4$. Dla zdarzenia 23 wartość wykładnika Hursta wzrasta ponownie do wartości $H(t) \approx 1,8$, gdzie Os.1 tłumaczy istotność zabiegu koronarografii i prosi o zgodę na zabieg.

W przypadku Os.1 zaobserwować można więc nałożenie się dwóch zjawisk: pierwszym jest uwzględnienie globalnego trendu w postaci liniowego wzrostu wartości wykładników Hursta, od początku scenariusza do jego końca. Wiąże się to początkowo z nieznajomością stanu

pacjenta, jego dolegliwości, uczuleń, przebytych środków, narastającym bólem w klatce piersiowej, z kolei dla końca scenariusza osiąga wartość w okolicach wartości maksymalnej, gdzie stan pacjenta jest znany, podano odpowiednie środki, a pacjent ma zostać przekazana Oddziałowi Kardiologicznemu celem wykonania zabiegu koronarografii. Drugim zjawiskiem jest wspomniany i opisany wcześniej przedział zdarzeń 15-20, w którym Os.1, jako koordynator działań grupy, nie zleciła sprawdzenia parametrów mogących kwalifikować pacjenta do przyjęcia na oddział kardiologii, co na wykresie zmienności wykładowca Hursta objawia się jego spadkiem.

W przypadku Os.4, która jest młodszą lekarzem wykres zmienności wykładowca Hursta jest bardzo podobny do przypadku Os.1. Dla zdarzeń 7-15 obserwowany jest wzrost wykładowca od wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,87288$ do wartości $H(t) \approx 1,8$, co odpowiada zdarzeniom, gdzie zespół zapoznaje się z sytuacją pacjenta, wdraża podstawowe postępowanie (monitorowanie dróg oddechowych, ocena saturacji krwi, maska tlenowa). Dla zdarzeń 16-19 występuje spadek wykładowca do wartości $modeH(t) = 1,1184$, w których zdarzeniach Os.4 konsultuje dalsze postępowanie z Os.1, wykonuje pomiar ciśnienia krwi tętniczego pacjenta oraz analizuje wspólnie z Os.1 zapis EKG celem dalszej kwalifikacji pacjenta do przyjęcia przez Oddział Kardiologiczny. Dla dalszych zdarzeń (20-24) Os.4 podaje lokalizację zawału w odpowiednich odprowadzeniach Os.1, która rozmawia z dyżurnym lekarzem z Oddziału Kardiologii, sprawdza dalsze parametry wymagane do kwalifikacji oraz uczestniczy w tłumaczeniu istoty zabiegu koronarografii pacjentowi. Wartość wykładowca Hursta wzrasta dla tego przedziału zdarzeń, osiągając wartość maksymalną $H(t)_{min} = 1,8788$.

Dla Os.4, podobnie jak w przypadku Os.1, zauważać można korelacje pomiędzy wydarzeniami występującymi w scenariuszu dotyczącymi stanu pacjenta, jego rozpoznania oraz dalszego postępowania z pacjentem, a wartością wykładowca Hursta. Spadki wykładowników Hursta poniżej wartości $modeH(t)$, bądź oscylacje występujące wokół tej wartości następują dla zdarzeń w początku scenariusza – gdy stan pacjenta jest niejasny, oraz w połowie (zdarzenia 16-20), gdy zapomniano o rozpoznaniu kluczowych parametrów koniecznych do dalszego postępowania ratunkowego z pacjentem.

Zespół pielęgniarek

Zadaniem pielęgniarek w każdym ze scenariuszów ćwiczeniowych jest wykonywanie poleceń lekarzy, wykonują one zazwyczaj mniej specjalistyczne zabiegi, tj. pomiar ciśnienia, pobieranie próbki krwi, założenie dożylnego wkłucia, podłączenie pacjenta do przyłożkowego aparatu EKG, podłączenie pacjenta do pulsoksymetru, czy wentylacja płuc pacjenta. W scenariuszu #B3 pielęgniarkami są Os.2 oraz Os.3.

Rozpatrując zachowanie pielęgniarek (bądź pielęgniarzy) należy uwzględnić fakt, iż w większości przypadków osoby te nie wykonują samodzielnie czynności, czekając na polecenia od koordynatora grupy, bądź młodszego lekarza. Dobrowolne działanie tych osób ograniczone jest poprzez uzyskanie zgody jednego z lekarzy.

Analizując zachowanie Os.2 w zdarzeniu 7 widzimy gwałtowny wzrost wartości wykładnika Hursta dla tej osoby. W zdarzeniu 7 Os.2 zostaje wyznaczona przez lekarza (Os.1) do monitorowania dróg oddechowych pacjenta. Wartość wykładnika wzrasta od wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,86476$ do wartości $H(t) \approx 1,5$. Wartość ta utrzymuje się poprzez zdarzenia 7-10, dla których Os.2 przygotowuje i zakłada pacjentowi maskę tlenową. W dalszej kolejności Os. 2 nie wykonuje żadnych czynności, wobec narastającego bólu pacjenta w klatce piersiowej sugeruje lekarzowi (Os.1) podanie morfiny bądź nitrogliceryny, odpowiada to zdarzeniu 11 oraz dalej 12, gdzie wartość wykładnika Hursta zaczyna spadać do wartości $modeH(t) = 1,0817$. W dalszej kolejności, po wydaniu polecenia przez Os.1, by podać pacjentowi nitroglicerynę i jej zaaplikowaniu (zdarzenie 14) oraz dalszej decyzji Os.2 by spionizować postawę pacjenta (zdarzenie 15), wartość wykładnika Hursta rośnie $H(t) \approx 1,4$.

W dalszej kolejności Os.2 nie wykonuje żadnych czynności dla zdarzenia 16 oraz 18 wartość wykładnika spada do wartości $H(t) \approx 1,25$ po czym do wartości $modeH(t) = 1,0817$. Pod koniec zdarzenia 18 oraz początku 19 wartość tego wykładnika podnosi się skokowo do wartości $H(t) \approx 1,50$, w których to Os.2 przygotowuje dawkę morfiny, aplikuję ją pacjentowi oraz utylizuje strzykawkę. Dla zdarzenia 21 oraz połowy zdarzenia 22 Os.2 nie wykonuje żadnych czynności. Wartość wykładnika spada do wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,0817$, po czym wzrasta, gdy Os.2 przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem do wartości $H(t) \approx 1,45$. Dla końcowego zdarzenia 23 Os.2 sprawdza na polecenie Os.3 obrzęki na kończynach dolnych pacjenta, a w

dalszej kolejności tłumaczy pacjentowi konieczność zabiegu koronarografii, celem ratowania stanu jego zdrowia. Wartość wykładnika Hursta wzrasta dla tych zdarzeń do wartości $H(t) \approx 2,0$ dla zdarzenia 23.

Rozpatrując z kolei Os.3 zauważać można dla wzrost wartości wykładnika Hursta dla zdarzeń 7-12 od wartości $H(t) \approx 1,2$ do wartości maksymalnej $H(t)_{max} = 2,0946$. Odpowiada to sytuacji, w której Os.3 zapoznaje się z sytuacją pacjenta, Os.1 wydaje polecenie Os.3 podłączenia pacjenta do pulsoksymetru oraz do aparatu EKG, następnie przystępuje do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta, w ostateczności otrzymuje polecenie od Os.1 sprawdzenia zalecanych dawek nitrogliceryny.

Dla zdarzeń 12-15 wartość wykładnika Hursta spada osiągając wartość minimalną $H(t)_{min} = 0,9485$, po czym oscyluje wokół wartości $modeH(t) = 1,0596$. Dla tych zdarzeń Os.3 nie wykonuje żadnych czynności, nie otrzymuje też poleceń od zespołu lekarzy. Od zdarzenia 15, gdzie Os.3 stwierdza brak poprawności zapisu EKG wartość wykładnika Hursta dla tej osoby wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,45$ i oscyluje wokół tej wartości do końca zdarzenia 21. Poprzez te zdarzenia Os.3 sprawdza podręcznik, celem ustalenia dawki morfiny, jaką zespół pragnie zaaplikować pacjentowi, wspólnie z Os.1 interpretują zapis EKG. Dla zdarzenia 22 Os.3 nie wykonuje żadnych czynności ratowniczych wobec pacjenta, wartość wykładnika Hursta spada do wartości $modeH(t) = 1,0596$. Dla zdarzeń 23-24 wartość wykładnika wzrasta do poziomu $H(t) \approx 1,75$ dla zdarzenia 23, oraz $H(t) \approx 1,5$ dla zdarzenia 24. Dla zdarzenia 23 Os.3 dołącza do Os.2, by sprawdzić obecność obrzęków na kończynach dolnych pacjenta, a dalej dla zdarzenia 24 Os.3 uczestniczy w tłumaczeniu pacjentowi istoty zabiegu, po którym to pacjent wyraża zgodę.

Dla obu pielęgniarek zauważać można więc spadki wykładników Hursta do wartości $modeH(t)$ i dalsze oscylacje wokół tej prostej, bądź poniżej jej wartości w momencie, gdy nie zostały zobowiązane przez żadnego z lekarzy do wykonania określonej czynności, w związku z czym czekają na dalsze polecenia. W momencie, gdy jeden z lekarzy wydaje polecanie pielęgniarskie dotyczące postępowania z pacjentem, bądź pielęgniarka decyduje się sama na proste, podstawowe czynności, to objawia się to wzrostem wykładników Hursta ponad wartość $modeH(t)$.

Scenariusz B2 – zaburzenia rytmu w przebiegu hiperkaliemii

Zgodnie z założonym scenariuszem stan pacjenta w zakresie parametrów życiowych nie ulega zmianie niezależnie od stosowanej terapii. Stan przytomności pogarsza się po piątej i następnie dziesiątej minucie od momentu przyjazdu karetki pogotowia z ratownikami.

Podobnie jak w poprzednim podpunkcie analizę rozdzielono na dwie grupy: zespołu lekarzy oraz pielęgniarek. W scenariuszu nie występuje rodzina pacjenta, udział w scenariuszu biorą więc cztery osoby, stanowiące podstawowy zespół, którego skład opisano w poprzednich punktach.

Zespół lekarzy

Rozpatrzmy najpierw osobę 3, czyli starszą lekarz dyżurną – kierownika Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Mimo, iż Os.2 nie zapamiętała szczegółów nt. stanu pacjenta, Os.3 rozpoczyna przygotowania przed jego przyjazdem.

W początkowym etapie scenariusza, po przetransportowaniu pacjenta na salę SORu przez pracowników pogotowia ratunkowego, jego stan jest nieznany, wdrażane są wszystkie konieczne czynności celem jego dalszego rozpoznania opisane w tabeli zdarzeń dla tego scenariusza. Wartość wykładnika Hursta od początku scenariusza dla Os.3, w którym to pacjent nie znajdował się na sali SORu, poprzez zdarzenia do zdarzenia nr 19, w dla których rozpoczęto analizę stanu pacjenta (m.in. wykonano badanie EKG dwunastoodprowadzeniowe) oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 1,5$. Odpowiada to sytujom, w których postępowanie z pacjentem jest jasne i dąży do uzyskania maksimum informacji nt. jego stanu i rozpoznania przyczyny jego pogorszenia.

W dalszym rozwoju scenariusza, Os.3 analizuje dostarczony przez technika zapis EKG, który został tak skonstruowany w scenariuszu badania, iż zawiera on jednoznaczny zapis świadczący o objawach hiperkaliemii, który musi zostać prawidłowo zinterpretowany przez zespół ratujący przy uwzględnieniu innych czynników, tj. skrajna suchość śluzówek, suchość skóry. Dla zdarzeń 20 – 26 zespół wraz z Os.3 kilkakrotnie analizuje otrzymany zapis EKG, gdzie nie stwierdza on nieprawidłowości świadczących o hiperkaliemii – niewłaściwa interpretacja zapisu EKG. Wartość wykładnika Hursta dla Os.3 spada od poprzednio wspomnianej wartości $H(t) \approx 1,5$, stopniowo do wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,1701$ i oscyluje wokół tej wartości. Zespół dla

tych wydarzeń, pod koordynacją Os.3 analizuje zebrane parametry pacjenta, po czym Os.3 podejmuje decyzję o telefonicznym poinformowaniu zespołu kardiologów.

Telefon do Oddziału Kardiologii wykonany przez Os.3 odpowiada zdarzeniu 27, co obawia się skokową zmianą wartości wykładnika Hursta do wartości maksymalnej $H(t)_{max} = 1,8919$, po czym następuje gwałtowny spadek do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,99308$ dla końca zdarzenia 28 i początku 29, w którym lekarz kardiolog po zapoznaniu się z wynikami badań zebranych przez zespół sugeruje kontakt z nefrologiem i stwierdza błędy w postępowaniu zespołu. W dalszej kolejności zespół po koordynacją Os.3 nie podejmuje konkretnych decyzji w sprawie postępowania z pacjentem, stan pacjenta jest dla zespołu niejasny: oddech pacjenta ulega spłyceniu i jest niemiarowy, a także występuje postępującą sinicę skóry. Os.3 następnie wydaje polecenia ręcznej wentylacji płuc pacjenta przy wykorzystaniu maski krtaniowej (zdarzenia 30, 31). Wartość wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,1701$ dla tych zdarzeń.

Dla zdarzenia 33 wartość wykładnika Hursta wynosi $H(t) \approx 1,4$, co odpowiada sytuacji, w której zatrzymano postępującą sinicę pacjenta, oraz spowodowano jej stopniowy zanik, na skutek wdrożenia ręcznej wentylacji wdrożonej przez Os.3. Wartość wykładnika ponownie spada do $modeH(t) = 1,1701$ i ponownie wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,4$ dla zdarzenia 36, w którym to Os.3 odbiera telefon informujący, iż wyniki badań morfologii są w normie. Dla ostatnich zdarzeń obecnych na przedstawionym wykresie zmienności wykładnika Hursta dla Os.3 zarejestrowano spadek wykładnika poniżej wartości najbardziej prawdopodobnej, tj. do wartości $H(t) \approx 1,0$. Odpowiada to zdarzeniom 37 oraz 38, w których zespół ponownie zastanawia się nad dalszym postępowaniem z pacjentem.

Kolejną osobą z zespołu lekarzy jest Os.1. Jest to młodsza lekarz dyżurna, która podlega Os.3 w wykonywaniu czynności ratunkowych. Od początku scenariusza Os.1 uczestniczy w zapoznaniu się z sytuacją pacjenta, sprawdza jego przytomność, osłuchuje klatkę piersiową – wykonuje podstawowe czynności, oczekując jednocześnie na wynik badania EKG. Dla zdarzeń tych: 5-18 (na otrzymanym wykresie) wartość wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,0922$.

Dla zdarzeń od 18 do zdarzenia 23 lokalna wartość wykładnika Hursta wzrasta od poprzednio wspomnianej wartości $modeH(t)$ do $H(t) \approx 1,5$. Dotyczy to przedziału zdarzeń,

dla których Os.3 wspólnie z lekarzem, kierownikiem SORu (Os.4) wspólnie analizują otrzymany dwunastoodprowadzeniowy zapis EKG. Dla zdarzeń 24-25 zespół lekarzy, w tym Os.1 nie zinterpretowały poprawnie zapisu EKG – nie stwierdzono objawów hiperkaliemii. Os.1 sprawdza podręcznik postępowania, następnie przeprowadza rozmowę z lekarzem dowodzącą akcją ratowniczą (Os.3) w kierunku dalszego postępowania, którego efektem nie jest definitive decyzja w sprawie dalszego postępowania. Wartość lokalnego wykładowca Hursta dla tych zdarzeń spada od poprzednio wspomnianej wartości $H(t) \approx 1,5$, do wartości poniżej $modeH(t)$ utrzymując się przez całe zdarzenie 25 na poziomie $H(t) \approx 0,9$.

Dla dalszych zdarzeń, od 26 zdarzenia, wartość wykładowca Hursta dla Os.3 wzrasta do wartości $H(t) \approx 1,5$ i oscyluje wokół niej do zdarzenia 30. Os.1 dla wspomnianego okresu analizuje wyniki badań laboratoryjnych pacjenta, poleca Os.2 podanie pacjentowi glukozy. Gdy pacjent zaczyna robić się siny, Os.1 zwiększa podaż tlenu na masce tlenowej pacjenta, osłuchaże klatkę piersiową, zauważając jednocześnie spłycenie oddechu pacjenta. Dla zdarzeń 30 – 31 mamy odpowiednio do czynienia ze spadkiem wartości wykładowca do wartości $H(t) \approx 1,2$ co odpowiada sytuacji, w której pacjent traci przytomność, a następnie z gwałtownym wzrostem tego wykładowca dla zdarzenia 31 do wartości $H(t) \approx 1,7$, co odpowiada sytuacji, w której Os.1 zakłada pacjentowi maskę krtaniową i dokonuje ręcznej wentylacji płuc pacjenta.

Dla zdarzeń 32-34 wartość wykładowca Hursta oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 1,5$. Os.1 dla tych zdarzeń uczestniczy w wentylacji płuc pacjenta. Dla zdarzeń 35-36 wartość wykładowca rośnie, osiągając wartość maksymalną $H(t)_{max} = 1,8108$, gdy Os.1 konsultuje z Os.3 możliwość podania pacjentowi lek *amiodaron*, następnie otrzymuje informacje z laboratorium, iż pozostałe wyniki badań są w normie. W końcowym etapie analizowanego wykresu, dla zdarzenia 37 wartość wykładowca Hursta osiąga wartość minimalną $H(t)_{min} = 0,77751$, gdy Os.1 oraz Os.3 ponownie analizują stan pacjenta, nie wyciągając decydujących wniosków w sprawie dalszego z nim postępowania.

Zespół pielęgniarek

Analizę rozpoczęliśmy od pielęgniarki - Os.2. Osoba ta znajduje się na sali SORu od początku scenariusza. Jest osobą, która odbiera zgłoszenie od PR, które informuje o stanie pacjenta, który znajduje się w drodze do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Os.2 nie

zapamiętała szczegółów dotyczących pacjenta, tj. niestabilność hemodynamiczna, czy niepełna świadomość pacjenta. W związku z tym, nie jest w stanie przekazać pełnych informacji reszcie zespołu. Wartość wykładnika Hursta przyjmuje od początku wykresu jego zmienności (zdarzenie 4) dla Os.2 wartość minimalną $H(t)_{min} = 0,7737$, a następnie oscyluje wokół wartości $H(t) \approx 0,85$, z wyjątkiem zdarzenia 5, w którym to Os.2 przygotowuje adenozynę z polecenia Os. 3. Poza tym zadaniem Os.2 dla przedziału zdarzeń 4 – 9 nie wykonuje żadnych czynności.

Poczynając od zdarzenia 9, w którym to Os.2 zakłada pacjentowi maskę tlenową, wartość wykładnika Hursta wzrasta i osiąga wartość $H(t) \approx 1,5$ dla zdarzenia 11. Dla zdarzeń 12 – 19 wartość wykładnika spada do wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,2284$, po czym utrzymuje się do końca zdarzenia 18 poniżej tego poziomu, wokół $H(t) \approx 1,15$. Dla tego przedziału zdarzeń Os.2 dokonuje wkładu do żyły pośrodkowej łokcia prawej, wraz z pobraniem próbki krwi oraz założeniem wenflonu.

Dla zdarzenia 19 obserwujemy spadek wartości tego wykładnika do poziomu $H(t) \approx 0,9$, w którym to Os.2 nie wykonuje żadnych czynności. Dla zdarzeń 20 – 25 następuje wzrost wartości wykładnika Hursta do wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) = 1,2284$. Dla tego zakresu zdarzeń Os.2 próbuje nawiązać kontakt z pacjentem, który nie dochodzi do skutku, dalej przekazuje tą informację zespołowi lekarzy, w ostateczności wykonuje polecenie – podłącza pacjenta do kroplówki. W połowie zdarzenia 25 Os.2 kończy podłączenie pacjenta do kroplówki, wartość wykładnika Hursta spada poniżej poziomu $modeH(t)$, gdzie wynosi $H(t) \approx 0,9$.

Zdarzenie 26 dla Os.2 oznacza rozpoczęcie podawania pacjentowi glukozy z polecenia Os.1, wartość wykładnika Hursta wzrasta ponad poziom $modeH(t)$, osiągając poziom $H(t) \approx 1,35$. Wartość wykładnika Hursta wzrasta poprzez zdarzenia 26 – 29, osiągając na początku zdarzenia 29 wartość maksymalną $H(t)_{max} = 1,8535$. Dla podanego przedziału zdarzeń Os.2 przygotowuje dawkę glukozy w odpowiedniej dawce, która na początku zdarzenia 29 zostaje podana pacjentowi dożylnie. W dalszej części zdarzenia 29 Os.2 porządkuje zasobnik z lekami, gdzie wartość wykładnika Hursta spada do poziomu $H(t) \approx 1,45$.

Dla zdarzeń 30-31 Os.2 początkowo nie wykonuje żadnych czynności, następnie przystępuje do wyciągnięcia i przygotowania maski krtaniowej dla Os.1, gdzie dla zdarzenia 31 rozpoczyna ręczną wentylację płuc pacjenta. Wartość wykładnika Hursta dla tych zdarzeń utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,35$.

Rozpatrując zdarzenia 32-35, dla których wartość wykładnika Hursta wzrasta do poziomu $H(t) \approx 1,65$, Os.2 kontynuuje ręczną płuc pacjenta, w trakcie gdy zespół lekarzy zastanawia się nad dalszymi krokami postępowania.

Dla ostatnich zdarzeń przedstawianych na wykresie zmienności wykładnika Hursta zaobserwować można spadek jego wartości do $modeH(t) = 1,2284$ dla zdarzenia 36. Os.2 nadal wentyluje ręcznie płuca pacjenta, jednak zespół lekarzy nie podejmuje konkretnych decyzji w sprawie dalszego postępowania z pacjentem, nie stawia odpowiedniej diagnozy (hiperkaliemii), którą należało wywnioskować z wyników przeprowadzonych badań. Dla zdarzenia 37 wartość wykładnika Hursta dla Os.2 spada poniżej poziomu $modeH(t)$, do wartości $H(t) \approx 0,95$, po czym wzrasta dla zdarzenia 38 do poziomu $modeH(t) = 1,2284$, gdy zespół decyduje się ponownie pobrać i wysłać próbkę krwi pacjenta do badania laboratoryjnego.

Kolejną osobą z zespołu pielęgniarek jest Os.4, która zostaje wezwana na salę SORu przez Os.2 i pojawia się po 22 sekundzie od momentu rozpoczęcia scenariusza.

Od początku scenariusza Os.4 nie wykonuje żadnych czynności przed przyjazdem pacjenta na salę SORu, oraz bezpośrednio po jego przywiezieniu przez pracowników PR. Wartość wykładnika Hursta dla zdarzeń 5-8 spada od wartości $H(t) \approx 0,95$ do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,36276$. Dla zdarzenia 8 lekarz (Os.1) poleca pielęgniarkę przejrzeć listę leków, jakie pacjent przyjmuje.

Dla dalszych zdarzeń 9 – 18 Os.4 zakłada sterylne rękawiczki, podaje Os.3 stetoskop, który wykorzystany zostaje do pomiaru ciśnienia, po czym nie wykonuje czynności ratowniczych, przyglądając się poczynaniom zespołu i czekając na polecenia zespołu lekarzy. Wartość wykładnika Hursta dla wspomnianego przedziału zdarzeń wzrasta od wartości minimalnej do $H(t) \approx 0,95$ dla końca zdarzenia 18.

Dla zdarzeń 19-23 wartość wykładnika Hursta dla Os.4 spada do poziomu $H(t) \approx 0,70$, wokół której utrzymuje się do końca tego przedziału. Os.4 wysyła próbki krwi pacjenta do laboratorium wraz ze skierowaniem, po czym po chwili podchodzi do zespołu lekarzy (Os.1 oraz Os.3) próbując zanalizować zapis EKG pacjenta – co nie należy do jej obowiązków, jako pielęgniarki, po czym dokonuje pomiaru tętna pacjenta.

Dla zdarzeń 24-29 Os.4 nie wykonuje żadnych czynności związanych z pacjentem. Wartość wykładnika Hursta wynosi $H(t) \approx 0,90$ dla zdarzeń od 24 do początku 26, oraz $H(t) \approx 0,60$ dla zdarzeń 26-28, w których to zespół lekarzy zdecydował o wykonaniu połączenia telefonicznego do Oddziału Kardiologii, po którym to lekarz kardiolog odmówił współpracy, sugerując kontakt z nefrologiem. Dla zdarzenia 29 wartość wykładnika Hursta wzrasta od wartości $modeH(t) = 1,3239$.

Dopiero od zdarzenia 30 Os.4 zaczyna wykonywać właściwe czynności ratunkowe skierowane bezpośrednio na pacjenta, bowiem dla zdarzenia 30 pacjent traci przytomność, oraz uwidacznia się narastająca sinica powłok pacjenta. Os.4 przystępuje wraz z resztą zespołu do ręcznej wentylacji płuc pacjenta. Wartość wykładnika Hursta dla Os.4 od tego momentu wzrasta powyżej wartości $modeH(t) = 1,3239$, osiągając maksimum $H(t)_{max} = 2,1573$ dla zdarzenia 32, w którym to Os.4 przejmuje proces wentylacji płuc pacjenta.

Dla zdarzeń 33-35 wartość wykładnika Hursta obniża się niewiele do poziomu $H(t) \approx 1,90$. Z kolei dla zdarzeń 36-38 wartość wykładnika Hursta dla Os.4 spada do poziomu $H(t) \approx 1,48$, gdzie Os.4 nadal wentyluje ręcznie płuca pacjenta, jednak zespół lekarzy dla tych zdarzeń nie podejmuje żadnych decyzji w sprawie dalszego postępowania ratunkowego z pacjentem.

Dla zdarzeń 39-42 wartość wykładnika Hursta dla Os.4 wzrasta do poziomu $H(t) \approx 1,85$. Dla zdarzeń tych Os.4 wraz z Os.2 nadal uczestniczą w procesie ręcznej wentylacji płuc pacjenta, jednak zespół lekarzy podejmuje szereg czynności, które zmierzają do diagnozy pacjenta, tj. sprawdzenie tętna na tętnicach udowych, ponowne wykonanie badania EKG, czy ostatecznie wykonanie połączenia telefonicznego na Oddział Kardiologii.

Dla ostatnich zdarzeń obecnych na wykresie zmienności wykładnika Hursta, tj. 43-44, Os.4 nadal wentyluje ręcznie płuca pacjenta poprzez maskę krtaniową z tzw. „ambu”. Zespół

lekarzy z nieznanych przyczyn ponownie telefonuje na Oddział Kardiologii, gdzie lekarz dyżurny ponownie przekazuje wiadomość, iż pacjent prawdopodobnie kwalifikuje się na Oddział Nefrologiczny, nie kardiologiczny. Mimo, iż Os.4 nadal wentyluje płuca pacjenta, zaobserwować można spadek wartości wykładnika Hursta do wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa $modeH(t) = 1,3239$. Stanowi to koniec wykresu zmienności tego wykładnika zamieszczonej na sporządzonym wykresie.

Scenariusz A3 – odma płuca prawego

Scenariusz A3 – odma płuca prawego został tak skonstruowany, iż na jego początku kontakt z pacjentem, mają młodszą lekarz dyżurną (Os.2) oraz pielęgniarka (Os.1), które zawiadamiają resztę zespołu (Os.3 oraz Os.4) o nagłym pogorszeniu stanu zdrowia pacjenta na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego.

W scenariuszu nie występują członkowie rodziny, których zadaniem w innych scenariuszach jest wprowadzenie dodatkowe elementu rozpraszającego. W niniejszym scenariuszu elementem stresogennym i rozpraszającym jest utrata przez pacjenta czynności oddechowo-krążeniowych, wobec czego koniecznym w przypadku podtrzymania czynności życiowych jest zastosowanie resuscytacji krążeniowo-oddechowej (RKO). RKO wymaga skoordynowanej akcji kilku osób: jedna z osób uciska klatkę piersiową, kolejna dokonuje pomiarów czasu między kolejnymi oddechami ratowniczymi i uciskami klatki, oraz dodatkowej osoby, która zastąpi pierwszą, gdy ta zmęczy się dokonując wspomnianych czynności. W międzyczasie zespół powinien przeprowadzać czynności, które będą zmierzały do właściwej diagnozy stanu pacjenta i jego poprawy (jak odbarczenie odmy), czy skierowania na odpowiedni oddział szpitalny.

Zespół lekarzy

Osoba 3

Rozpatrzmy najpierw osobę 3, czyli starszego lekarza dyżurnego, kierującego akcją ratowniczą. Po przybyciu na miejsce zdarzenia zapoznaje się z sytuacją pacjenta, pyta zespół pielęgniarek jakie informacje zdobyły do tej pory, oraz jakie przeprowadziły czynności. Poleca pielęgniarkę (Os.2) przeprowadzić wywiad z pacjentem pod kątem uczuleń na leki, oraz leki, które pacjent przyjmuje regularnie, następnie sam pyta pacjenta o przyjmowany lek: butamol. Dla tych zdarzeń widocznych na sporządzonym wykresie (od 10 do 11), wartość wykładnika

Hursta dla Os.3 przyjmuje wartość maksymalną $H(t)_{max} = 1,9034$, po czym utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,8$.

Dla dalszych zdarzeń 12-14, zespół lekarzy (Os.3 oraz Os.4) przegląda podręcznik „*Interna Szczeklika*” celem ustalenia informacji nt. przyjmowanego przez pacjenta leku – butamolu. Wartość wykładnika Hursta dla tych zdarzeń spada od wspomnianego wcześniej poziomu, do wartości $H(t) \approx 1,5$.

Dla zdarzeń 15-24 wartość wykładnika Hursta utrzymuje się na poziomie $H(t) \approx 1,6$, co odpowiada zdarzeniom, dla których Os.3 próbuje (bezskutecznie) zaaplikować pacjentowi lek, który miał przy sobie – butamol, jednak pacjent nie jest w stanie wziąć odpowiednio głębokiego wdechu. Dalej stan pacjenta się pogarsza, Os.3 zastanawia się nad dalszym postępowaniem, gdy reszta zespołu zajmuje się pacjentem, konsultuje następnie dalsze postępowanie z Os.2, zlecając wykonanie badania RTG klatki piersiowej. Dla zdarzenia 21 Os.3 sprawdza wypełnienie żył szyjnych pacjenta, po czym opukuje klatkę piersiową, gdzie wypuk jest nadmiernie jawnny – co jest jednym z objawów charakterystycznych w rozedmie płuc, będących bezpośrednią wskazówką do rozpoznania stanu pacjenta. Na koniec wspomnianego przedziału zdarzeń na salę przybywa technik wykonujący badanie RTG.

Dla przedziału zdarzeń 25-35 wartość wykładnika Hursta spada do wartości $H(t) \approx 1,35$ i oscyluje wokół tego poziomu do końca wspomnianego przedziału. Os.3 oraz Os.2 analizują wynik badania radiologicznego klatki piersiowej pacjenta, następnie zastanawiają się nad dalszym postępowaniem z pacjentem, gdy pacjent przestaje otwierać oczy i traci przytomność. Po chwili Os.2 stwierdza brak oddechu pacjenta, następnie Os.3 stwierdza brak tętna i poleca przystąpienie do resuscytacji krążeniowo-oddechowej (RKO). Os.3 od tego momentu prowadzi ewidencję czasową RKO. Dla zdarzenia 35 Os.4 odbiera telefon z laboratorium z wynikami badań pacjenta, Os.3 notuje wyniki gazometrii, które świadczą o kwasicy oddechowej pacjenta.

Od wspomnianego zdarzenia 35 wartość wykładnika Hursta wzrasta do połowy zdarzenia 40 do wartości $H(t) \approx 1,6$. Dla zdarzeń tych Os.3 stwierdza wystąpienie kwasicy oddechowej pacjenta wnioskując z badań gazometrycznych, przygotowuje dawkę adrenaliny, którą następnie podaje pacjentowi.

Dla zdarzeń 41-45 mamy do czynienia ze spadkiem wartości wykładnika Hursta dla Os.3 od poprzednio wspomnianej wartości, do poziomu $modeH(t) = 1,0371$. Odpowiada to sytuacjom, w których Os.3 sugeruje osłuchanie płuc pacjenta oraz zbadanie ponowne wypuku – wypuk nadmiernie jawnny, niesymetryczność szmerów nad płucami. Os.3 nie wykonuje dla tego przedziału żadnych dodatkowych zadań. Dopiero dla zdarzenia 46 Os.3 decyduje się wykonać zabieg torakocentezy, celem odbarczenia płuc pacjenta. Wartość wykładnika Hursta osiąga dla tego zdarzenia wartość minimalną $H(t)_{min} = 1,0306$, po czym następuje wzrost tej wartości poprzez zdarzenia od 46 do 50. Dla tych zdarzeń Os.3 poleca ponowne sprawdzenie czynności oddechowo-krążeniowej pacjenta, po czym zespół powraca do RKO, gdyż pacjent nie oddycha samodzielnie, oraz nie ma akcji serca. Wartość wykładnika Hursta dla tych zdarzeń wzrasta do poziomu $H(t) \approx 1,25$.

Osoba 2

Osoba 2 to młodsza lekarz dyżurna, która znajduje się na sali SORu od początku scenariusza. Dla zdarzenia 6-7 Os.2 przeprowadza wywiad z pacjentem, wartość wykładnika Hursta rośnie i osiąga wartość maksymalną $H(t)_{max} = 1,7287$. Dla zdarzeń 8-12 wartość wykładnika Hursta dla tej osoby nieznacznie spada do poziomu $H(t) \approx 1,50$ i utrzymuje się do wokół tego poziomu dla znacznej części zdarzenia 12. Os.2 dla tak zdefiniowanego przedziału zdarzeń przeprowadza dalszy wywiad z pacjentem, wydaje polecenie Os.1 by zmierzyć pacjentowi ciśnienie, oraz sprawdza razem z starszym lekarzem dyżurnym (Os.3) wykaz leków, celem odnalezienia specyfikacji butamolu – leku, który przyjmuje pacjent.

Wartość wykładnika Hursta dla końca zdarzenia 12 poprzez zdarzenia 13-25 spada w sposób liniowy, by dla zdarzenia 22 wynieść $modeH(t) = 1,1052$, a następnie oscylować wokół tej wartości do końca tak zdefiniowanego przedziału. Odpowiada to sytuacji, w której Os.2 konsultuje z Os.3 dalsze postępowanie z pacjentem, gdzie nie ma możliwości zaaplikowania pacjentowi przepisanego mu leku – *butamol*. W międzyczasie (zdarzenie 17) stan pacjenta ulega pogorszeniu, Os.2 zamawia badanie radiologiczne – zdjęcie przyłożkowe klatki piersiowej pacjenta, po czym przystępuje do badania fizykalnego pacjenta. Po wykonaniu przez technika zdjęcia klatki piersiowej dokonuje wspólnie z Os.3 jego analizy.

Dla zdarzeń 26-27 Os.2 z Os.3 oraz Os.4 konsultuje dalsze postępowanie z pacjentem, omawia wynik badania RTG pacjenta, wartość wykładnika Hursta wzrasta dla Os.2 do wartości

$H(t) \approx 1,40$. Po czym dla zdarzeń 28-31 ponownie spada do wartości $modeH(t) = 1,1052$, gdzie pacjent traci przytomność, gdzie ustaje czynność krążeniowo-oddechowa pacjenta, po czym Os.2 rozpoczyna ręczną wentylację płuc pacjenta.

Dla przedziału zdarzeń 32-33 stan pacjenta nie jest jeszcze do końca znany, dla zdarzenia 32 Os.3 stwierdza brak tętna pacjenta, Os.2 wydaje polecenie przygotowania adrenaliny, jedna w toku rozwoju zdarzeń, rozpoczyna przygotowanie maski krtaniowej do dalszej, ręcznej wentylacji płuc pacjenta, co odpowiada zdarzeniu 34 i spadu wykładnika Hursta do poziomu $modeH(t) = 1,1052$.

Z przedziału zdarzeń 35-39 dla Os.2 następuje wzrost wartości wykładnika Hursta w sposób liniowy do poziomu $H(t) \approx 1,50$ dla zdarzeń 35-37, po czym poziom utrzymuje się dla zdarzeń 38-39. Odpowiada to sytuacji, w której Os.2 dokonuje ręcznej wentylacji płuc pacjenta, następnie podczas przerwy na ocenę jego stanu sprawdza obecność tętna i w dalszej kolejności przejmuje masaż serca pacjenta.

Wartość wykładnika Hursta spada do poziomu $modeH(t) = 1,1052$ w sposób w przybliżeniu liniowy, dla przedziału zdarzeń 40-45. Dla wspomnianego przedziału Os.2 kontynuuje masaż serca pacjenta, jednocześnie rozmawiając z starszym lekarzem (Os.3) na temat dalszego postępowania. W trakcie przerwy od RKO, przy ocenie pracy serca i funkcji oddechowych, Os.1 stwierdza trzeszczenie pod skórą na szyi pacjenta. Os.2 stwierdza także występowanie opuchnięcia na jego ciele, następnie z polecenia Os.3 osłucha klatkę piersiową oraz dokonuje jej opuku – wypuk bębenkowy. W dalszej kolejności Os.3 poleca Os.2 przygotowanie dawki adrenaliny, którą podaje pacjentowi. Stan pacjenta nie ulega poprawie dla wspomnianego przedziału zdarzeń.

W momencie, gdy Os.3 dokonuje zabiegu torakocentezy (zdarzenie 46) celem odbarczenia odmy, po którym Os.4 dokonuje defibrylacji serca pacjenta, a następnie Os.2 wznawia masaż serca pacjenta, wartość wykładnika Hursta dla Os.2 wzrasta od wcześniejszego poziomu $modeH(t) = 1,1052$, do wartości około $H(t) \approx 1,50$. Wartość wykładnika Hursta dla Os.2 gwałtownie spada dla zdarzeń 52-53, osiągając wartość minimum $H(t)_{min} = 1,0339$, gdy starszy lekarz dyżurny (Os.3) powierza Os.4 kierowanie dalszą akcją ratowniczą, gdzie Os.2 w dalszej kolejności prowadzi ręczną wentylację płuc pacjenta.

Zespół pielęgniarek

Osoba 1

Os.1 to pielęgniarka, której zadaniem jest wykonywanie podstawowych czynności ratunkowych, często z polecenia osoby z zespołu lekarzy. Dla początkowych zdarzeń zauważać można spadek wartości wykładnika Hursta od poziomu $H(t) \approx 0,9$ dla zdarzenia 6, do wartości minimalnej $H(t)_{min} = 0,47747$ dla zdarzenia 12. Odpowiada to przedziałowi zdarzeń, w którym Os.1 włącza podajnik tlenu dla maski tlenowej pacjenta na polecenie Os.2, po czym przystępuje do pobrania próbki krwi pacjenta na badania, jednak Os.4 przejmuje to zadanie. Następnie Os.1 zostaje poproszona o wykonanie pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta. Wspomnianą wartość minimalną wykładnik Hursta osiąga dla zdarzenia 12, gdzie Os.1 nie wykonuje żadnych czynności związanych z pacjentem.

Od końca zdarzenia 12 do zdarzenia 18 zauważać można wzrost wartości wykładnika Hursta do poziomu $modeH(t) = 1,0529$. Os.1 dla tych zdarzeń pionizuje postawę pacjenta, konsultuje z Os.2 skierowanie na badania laboratoryjne krwi pacjenta, zakłada pacjentowi maskę tlenową, następnie sugeruje wykonanie badania dwunastoodprowadzeniowego EKG, co powoduje, iż młodsza lekarz dyżurna (Os.2) telefonuje do Zakładu Diagnostyki Obrazowej celem zamówienia RTG przyłożkowego.

Dla zdarzeń 18-25 Os.1 zwiększa podaż tlenu na masce tlenowej pacjenta oraz obserwuje badania fizyczne pacjenta przeprowadzane przez zespół lekarzy, po czym na sali SORu przychodzi technik elektroradiologii, który wykonuje zdjęcie przyłożkowe, przednio-tylne klatki piersiowej pacjenta. Wartość wykładnika Hursta dla Os.1 dla tych zdarzeń oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej z rozkładu prawdopodobieństwa: $modeH(t) = 1,0529$.

Dla zdarzeń 26-27 wartość wykładnika Hursta dla Os.1 spada poniżej poziomu $modeH(t) = 1,0529$, do wartości około $H(t) \approx 0,8$. Odpowiada to sytuacji, w której zespół lekarzy (Os.2 oraz Os.3) analizuje wykonane zdjęcie RTG pacjenta, zostawiając zespół pielęgniarek na sali z pacjentem. Os.1 ponownie mierzy ciśnienie tętnicze krwi pacjentowi, oraz podłącza pacjenta do kroplówki po przyjściu członków zespołu lekarzy.

Od tego momentu, dla zdarzeń 28-46 wartość wykładnika Hursta dla Os.1 rośnie, od wspomnianej wartości $H(t) \approx 0,8$, do wartości maksymalnej $H(t)_{max} = 1,8405$, którą osiąga dla zdarzenia 46. Dla zdarzeń tych Os.1 wykonuje polecenia lekarzy podając pacjentowi hydrokortyzon, po stwierdzeniu zatrzymania oddechu i krążenia rozpoczyna procedurę RKO uciskając klatkę piersiową pacjenta (zdarzenie 32), po czym następuje zmiana, gdzie Os.1 wentyluje płuca pacjenta (zdarzenie 37), w trakcie oceny jego stanu sprawdza tętno i wyczuwa podskórную obecność powietrza, o czym informuje zespół lekarzy (zdarzenie 42). Os.1 kontynuuje wentylację płuc pacjenta (zdarzenie 44) do końca zdarzenia 46, w którym to Os.3 decyduje się odbarczyć płuca pacjenta.

Os.1 nie przestaje wentylować płuc pacjenta do zdarzenia 53, w którym technik elektroradiologii wykonuje ponownie RTG przyłożkowe pacjenta. Os.2 przejmuje proces wentylacji, gdzie serce pacjenta wznowia akcję, co oznacza przeciwskazanie do masażu serca. Os.1 dla dalszych zdarzeń (do 54 włącznie) nie wykonuje żadnych czynności ratunkowych. Wartość wykładnika Hursta dla tej osoby spada od wspomnianej wartości maksimum $H(t)_{max} = 1,8405$ dla zdarzenia 46, do wartości $H(t) \approx 1,1$ dla zdarzenia 54.

Osoba 4

Os.4 to pielęgniarka, którego zadaniem jest wykonywanie podstawowych czynności ratunkowych, często z polecenia osoby z zespołu lekarzy. Os.4 zostaje wezwana na miejsce zdarzenia przez Os.1 i pojawia się na sali SORu po 70 sekundach.

Wartość wykładnika Hursta od początku przebiegu jego zmienności przyjmuje wartość maksymalną równą $H(t)_{max} = 1,9184$ dla zdarzenia 11. Odpowiada to sytuacji, w której Os.4 przygotowuje zestaw do dokonania wkłucia dożylnego pacjentowi, następnie dokonuje właściwego wkłucia do żyły odłokciowej powierzchniowej prawej pacjenta. W dalszym rozwoju scenariusza, dla zdarzeń 11-16 wartość wykładnika Hursta spada do wartości minimalnej dla tej osoby $H(t)_{min} = 1,0672$, która wynosi niewiele mniej od wartości najbardziej prawdopodobnej (z rozkładu prawdopodobieństwa), a mianowicie: $modeH(t) = 1,1305$. Dla tego zakresu zdarzeń Os.4 dokonuje jedynie wkłucia dożylnego pacjenta, następnie oczekuje na dalsze polecenia ze strony zespołu lekarzy.

Dla zdarzeń z przedziału 16-22 wartość wykładnika Hursta wzrasta od $H(t)_{min} = 1,0672$, do wartości $H(t) \approx 1,5$, wokół której oscyluje do początku zdarzenia 35.

Dla tych zdarzeń Os.4 wykonuje szereg działań związanych z pacjentem, wykonując polecenia zespołu lekarzy. Dla zdarzenia 16 Os.4 wykonuje pomiar ciśnienia tętniczego krwi pacjenta, następnie obserwuje badanie fizyczne pacjenta wykonane przez zespół lekarzy. Po wykonaniu zdjęcia RTG klatki piersiowej pacjenta przez technika Os.4 odkłada lek *butamol* na bok. Leku tego nie udało się zaaplikować pacjentowi, następnie Os.4 konsultuje dalsze postępowanie z pacjentem z zespołem lekarzy. W momencie gdy pacjent traci przytomność Os.3 poleca Os.4 przygotowanie dawki leku (zdarzenie 30). Gdy Os.3 stwierdza brak tężna pacjenta, Os.2 (młodsza lekarz dyżurna) poleca Os.4 przygotowanie dawki adrenaliny dla pacjenta, gdzie po chwili (zdarzenie 35) Os.4 odbiera telefon z laboratorium. Pracownik laboratorium informuje o wynikach gazometrii, które w dalszej kolejności Os.3 zapisuje na tablicy. Wartość wykładnika Hursta dla tego wydarzenia osiąga wartość $H(t) \approx 1,4$,

Wartość wykładnika Hursta dla zdarzeń 36-38 obniża się do poziomu $H(t) \approx 1,2$. Dla zdarzeń tych Os.4 nie wykonuje żadnych czynności związanych z pacjentem. Dla dalszych zdarzeń, od 39 do końca zdarzeń scenariusza dla Os.4 – zdarzenie 55, wartość wykładnika Hursta oscyluje wokół poziomu $H(t) \approx 1,4$, Os.4 uczestniczy w akcji ratowniczej: sprawdza wskazania z podręcznika *Interna Szczeklika* w postępowaniu z kwasicą oddechową, w dalszej kolejności zmienia Os..2 w wykonywaniu masażu serca, następnie dokonuje defibrylacji serca pacjenta, gdzie przy ocenie okazuje się, iż serce pacjenta wznowiło akcję, po czym dokonuje pomiaru ciśnienia tętniczego krwi pacjenta (zdarzenie 55).

Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowanie wpływu rodziny na działania zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładników Hursta.

Analizując zmienność wykładników Hursta dla członków rodziny w scenariuszach A1 oraz A2 zaobserwowano pewną prawidłowość. Mianowicie dla zdarzeń, czy fragmentów analizowanych przebiegów zmienności wykładnika Hursta w czasie, w których wpływ rodziny na członków zespołu jest znaczący, tzn. rodzina pragnie skontaktować się z pacjentem, zadaje pytania lekarzom i pielęgniarkom, utrudnia swobodne przemieszczenie się zespołu na sali SORu itp., wartości tego wykładnika zawsze utrzymują się poniżej wartości $modeH(t)$, bądź oscylują wokół niej. Dla zdarzeń, gdy ingerencja w działania zespołu jest największa wartość wykładnika

Hursta utrzymuje się dla członków rodziny poniżej poziomu $H(t) < 1,0$ co oznacza, iż generowane przez te osoby sygnały mają charakter szumowy.

Z kolei, gdy członkowie rodziny, zarówno w scenariuszu A1 oraz scenariuszu A2, zostają odsunięci przez jednego członka zespołu od miejsca wykonywania czynności ratunkowych, wartości tego wykładownika w rozpatrywanych przypadkach wynoszą $H(t) > 1,0$. Oznacza to, iż nastąpiła zmiana charakteru generowanych sygnałów z sygnałów o charakterze szumowym na sygnały o charakterze błądzenia losowego (*ang. random walk-like time series*).

Rozpatrywanie charakteru generowanych sygnałów przemieszczenia przez członków zespołu jest zadaniem bardziej złożonym, gdyż jak wspomniano wcześniej należy zaobserwować, do której osoby z zespołu zwrócił się członek rodziny, która osoba z zespołu odciągnęła rodzinę umożliwiając tym samym reszcie zespołu dalszą pracę w optymalnych warunkach.

Zaobserwowano jednakże pewne prawidłowości, które zachodzą w odpowiedzi na zdarzenia zdefiniowane w scenariuszu. W przypadku członków zespołu, nie różnicując pomiędzy parą lekarzy a parą pielęgniarek, zaobserwowano adekwatne spadki wykładowników Hursta w momencie, gdy członkowie rodziny wkraczali na salę SORu i bezpośrednio ingerowali w wykonywanie czynności ratowniczych danej osoby. Z kolei jednak, gdy członek z zespołu ratowniczego może wykonać swe obowiązki bez ingerencji rodziny – w wyniku braku interferencji z jej strony, czy odciążenia rodziny przez inną osobę z zespołu, wartość tego wykładownika pozostaje bez zmian, innymi słowy nie zaobserwowano efektu wpływu zakłócającego na daną osobę.

Dodatkowo wzrosty czy spadki wykładownika Hursta dla członków zespołu dla scenariuszy A1 oraz A2, gdzie pojawiają się członkowie rodziny, zachodzą w przeważającej części powyżej wartości $modeH(t)$. Z kolei w przypadku członków rodziny zaobserwować można tendencję, w której wartości wykładowników Hursta fluktują w dużej części poniżej wartości $modeH(t)$, gdy rodzina przeszkaździ w wykonywaniu czynności. Dla zdarzeń, gdy członkowie rodziny przeszkaźdzą określonym osobom zespołowi w wykonywaniu czynności, wartość wykładownika Hursta spada najczęściej do wartości $modeH(t)$, jedynie dla pewnych zdarzeń w scenariuszu A2, dla Os.4 oraz Os.2 wartości te spadają poniżej $modeH(t)$.

Należy zauważyć, iż sam kontakt z rodziną nie jest skorelowany bezpośrednio ze spadkiem wykładownika Hursta, należy rozróżnić rodzaj kontaktu. Rozpatrzmy w tym momencie Os.2 (pielęgniarkę) ze scenariusza A1. Dla zdarzenia 5 Os.2 przejmuje kontakt z rodziną starając się ją uspokoić i pouczyć, by nie przeszkadać zespołowi w czasie wykonywania czynności ratunkowych. Wartość wykładownika osiąga wartość minimalną, poniżej wartości $modeH(t)$. W dalszej kolejności, pod koniec zdarzenia 5 pielęgniarka przystępuje do wykonania swego obowiązku – zebrania wywiadu od rodziny na temat pacjenta. Wartość wykładownika Hursta dla tego ostatniego zdarzenia wzrasta do wartości maksymalnej, po czym utrzymuje się na podobnym poziomie przez całe zdarzenie 6 oraz 7.

Szczegółowa analiza każdej osoby w odpowiedzi na zdarzenia została zamieszczona na poprzednich stronach, należy jednak zauważyć odwrotną korelację pomiędzy procesami interferencji w działania zespołu przez rodzinę, a wartościami wykładowników Hursta dla kolejno występujących wydarzeń.

[**Podsumowanie wpływu osób postronnych na działania zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładowników Hursta.**](#)

Także w przypadku obecności osób postronnych na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego zaobserwowano pewne prawidłowości w związku z przebiegami wartości wykładowników Hursta. Należy zaznaczyć, iż przeciwnie niż w scenariuszach A1 oraz A2, gdzie członkowie rodziny byli obecni przez cały czas trwania pomiaru, Os.6 oraz Os.7 występujące w scenariuszu B3 występują jedynie przez dokładnie 120 sekund jego trwania.

Zgodnie z założeniem tego scenariusza osoby postronne nie udzielają żadnych informacji dotyczących pacjenta, ich zadaniem jest wyłącznie opóźnienie rozpoczęcia akcji ratowniczej, jej utrudnienie oraz dezorientacja zespołu.

Dla osoby postronnej, która nie zachowuje się agresywnie (Os.7) wartość wykładownika Hursta oscyluje wokół wartości najbardziej prawdopodobnej $modeH(t) \approx 1,2$, po czym wzrasta do wartości $(t) \approx 2,2$, gdy Os.7 opuszcza salę SORu. W przypadku agresywnej Os.6 wykres zmienności ma inny charakter, zaobserwowano jednakże pewną prawidłowość. Mianowice, gdy Os.7 wkrańca na miejsce zdarzenia i grozi zespołowi ostrym narzędziem, uniemożliwiając tym samym rozpoczęcie akcji, mamy do czynienia ze spadkiem wartości

wykładnika Hursta poniżej poziomu $modeH(t)$, do wartości $H(t) \approx 1,0$. Wyróżnić można moment, w którym Os.7 przestaje grozić zespołowi nożem, gdyż ten odmówił dalszej współpracy, telefonując do służb porządkowych, oraz informując, że nie rozpocznie akcji ratowniczej w takim przypadku. Objawia się to dla tej osoby wzrostem wartości wykładnika Hursta do poziomu $H(t) \approx 2,19$. Dalszej kolejności osoba ta grozi bezpośrednio śmiercią osobie z zespołu, który musiał rozpocząć akcję ratowniczą w utrudnionych warunkach – stres oraz brak jednej osoby z zespołu. Wartość wykładnika Hursta oscyluje wokół wartości $modeH(t) \approx 1,3$, po czym wzrasta dla zdarzenia 4 (podobnie jak dla Os.6), gdy osoby postronne opuszczają miejsce zdarzenia.

Zaobserwowano więc spadek wartości wykładnika Hursta, dla osób postronnych, gdy ich poziom ingerencji w działania zespołu jest największy. Przyjmowane wartości tego wykładnika osiągają wartości $H(t) < 1,0$. Odwrotną prawidłowość zaobserwowano w przypadku, gdy osoby postronne nie są w stanie wywrzeć oczekiwanej wpływu na zespół ratowniczy, wartości wykładników Hursta dla tych zdarzeń w oscylują powyżej wartości $modeH(t) \approx 1,3$ osiągając dla wybranych fragmentów wartości $H(t) \approx 2,0$.

Istotnym elementem jest także próba oceny wpływu osób postronnych na działania zespołu. Wpływ ten ograniczony jest dla zdarzeń 1-4 w scenariuszu B3 dla osób z zespołu lekarzy oraz zespołu pielęgniarek.

Podobnie jak w przypadku wpływu rodziny, w przypadku rozpatrywania wpływu osób postronnych należy rozróżnić rodzaj kontaktu osoby postronnej z pracownikiem Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Zaobserwowano jednakże pewne prawidłowości. W przypadku Os.3 z zespołu (osoba której bezpośrednio grożono nożem) wartość wykładnika Hursta dla fragmentów, w których osoba postronne (Os.6) uniemożliwia wykonywanie czynności ratunkowych oraz wprowadza pewien element stresogenny, czy rozpraszający, wartość wykładnika Hursta utrzymuje się poniżej $modeH(t) \approx 1,07$. Natomiast, gdy zespół przystępuje do akcji ratowniczej, gdzie Os.3, będąca jednocześnie kierownikiem SORu, wydaje polecenia dotyczące dalszego postępowania, zaobserwować można wzrost wartości wykładnika Hursta ponad wspomniany poziom $modeH(t)$, do wartości $H(t) \approx 1,5$. Podobna prawidłowość dotyczy reszty zespołu ratowniczego: wartość wykładnika Hursta dla zdarzeń, gdy osoby postronne znajdują się na sali Szpitalnego Oddziału Ratunkowego utrzymuje się poniżej

poziomu $modeH(t)$, bądź oscyluje wokół niego. Natomiast po opuszczeniu sali przez te osoby, wartości wykładników Hursta dla członków zespołu lekarzy oraz pielęgniarek, przyjmują w większości przypadków wartości powyżej $modeH(t)$, w okolicy $H(t) \approx 1,2$. Wyjątkiem jest Os.2, dla której wartość wykładnika Hursta wzrasta powyżej $H(t) > 1,5$, jednak dla pewnego opóźnienia wynoszącego niecałą minutę.

Podsumowując, zaobserwowano wpływ osób postronnych na działania zespołu. Gdy osoby postronne działają w sposób uniemożliwiający działanie zespołu, bądź poszczególnych jego członków, lokalne wartości wykładnika Hursta oscylują poniżej bądź wokół poziomu $modeH(t)$, który wynosi w przybliżeniu dla członków zespołu $modeH(t) \approx 1,1$. Gdy wpływ osób postronnych nie dotyczy danego członka zespołu, bądź osoby postronne dopiero co opuściły salę SORu, zaobserwowano wzrost wartości wykładnika Hursta powyżej wartości $modeH(t) \approx 1,1$.

Podsumowanie pracy zespołu ratowniczego z uwzględnieniem zmienności lokalnych wykładników Hursta.

Dla zespołu lekarzy z analizowanych scenariuszy, zauważać można korelacje pomiędzy wydarzeniami występującymi w scenariuszu dotyczącymi stanu pacjenta, jego rozpoznania oraz dalszego z nim postępowania, a wartością wykładnika Hursta. Spadki wykładników Hursta poniżej wartości $modeH(t)$, bądź oscylacje występujące wokół tej wartości następują często dla zdarzeń na początku scenariusza – gdy stan pacjenta jest niejasny, oraz w we fragmentach scenariusza stan pacjenta ulega (początkowo) z niejasnych przyczyn pogorszeniu, bądź zapomniano o rozpoznaniu kluczowych parametrów koniecznych do dalszego postępowania ratunkowego z pacjentem (B1).

Na zespół lekarzy składają się dwie osoby, gdzie scenariusz B3 stanowi wyjątek, bowiem zespół ten tworzy trzech lekarzy. Zadaniem lekarzy jest bezpośrednia interakcja z zespołem pielęgniarek, którym zleca się wykonywanie czynności podstawowych, do których należą m.in.: pomiar ciśnienia, wentylacja płuc pacjenta, dokonanie wkładania do żyły odłokciowej pacjenta, pobranie próbki krwi itp. Bezpośrednim zadaniem lekarzy Szpitalnego Oddziału Ratunkowego jest poprawa stanu pacjenta bądź podtrzymywanie jego funkcji życiowych oraz odpowiednia analiza celem skierowania pacjenta na odpowiedni oddział szpitalny.

Analiza zebranych scenariuszy dla zespołu lekarzy wykazała występowanie korelacji występujących dla zespołu lekarzy w trakcie diagnozy i postępowania z pacjentem. Mianowicie, gdy stan pacjenta ulega nagłemu, niespodziewanemu pogorszeniu, gdzie zespół nie zdiagnozował dokładnie stanu pacjenta (np. scenariusz A3, utrata przytomności pacjenta, gdzie zespół nie zdiagnozował jeszcze odmy opłucnowej) wartość wykładnika Hursta obniża się do poziomu $modeH(t)$ bądź niewiele powyżej. Ważnym zauważeniem jest faktu, iż w przypadku zespołu lekarzy przebiegi zmienności wykładników Hursta przyjmują przeważająco wartości powyżej $modeH(t)$ zarówno, gdy stan pacjenta jest stabilny, jak i wtedy, gdy ulega on znacznemu pogorszeniu. Przykładem jest scenariusz B2, gdzie o obniżeniu wartości wykładnika, odpowiadającemu pogorszeniu stanu pacjenta przyjmowane są wartości $H(t) < 1,2$. Natomiast dla zdarzeń w których $H(t) > 1,2$ obserwujemy w większości analizowanych przypadków bezpośrednie analizy czy zabiegi zmierzające do poprawy stanu pacjenta.

Zadaniem zespołu pielęgniarek, bądź pielęgniарzy jest wykonywanie wspomnianych wcześniej czynności na polecenie jednego z lekarzy, bądź samodzielne wykonywanie prostych czynności. W analizie działań tego zespołu należało więc uwzględnić sytuacje, w których osoby te nie wykonują czynności ratunkowo-diagnostycznych skierowanych na pacjenta, bądź wydane zostały im polecenia od zespołu lekarzy/

Dla zespołu pielęgniarek zauważać można spadki wykładników Hursta do wartości $modeH(t)$ i dalsze oscylacje wokół tej prostej, bądź poniżej jej wartości w momencie, gdy nie zostały zobowiązane przez żadnego z lekarzy do wykonania określonej czynności, w związku z czym czekają na dalsze polecenia, często obserwując jedynie rozwój sytuacji. W momencie, gdy jeden z lekarzy wydaje polecanie pielęgniarskie dotyczące postępowania z pacjentem, bądź pielęgniarka decyduje się sama na proste, podstawowe czynności, to objawia się to w większości przypadków wzrostem wykładników Hursta ponad wartość $modeH(t)$, gdzie wynoszą one w większości rozpatrywanych przypadków $H(t) > 1,2$.

Wnioski końcowe

Celem pracy było scharakteryzowanie sposobu poruszania się studentów wykonujących ćwiczenia fakultatywne na fantomie Zakładu Dydaktyki Medycznej w Collegium Medicum na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. W ćwiczeniu symulowano stan pacjenta w sytuacji zależnej od danego scenariusza ćwiczeniowego. Badanie dotyczyło analizy dwuwymiarowych szeregów czasowych generowanych dla każdej osoby występującej w rozpatrywanych scenariuszach. Analizy tej dokonano stosując multifraktalną analizę fluktuacji zwaną MF DFA (ang. *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis*), przy pomocy której otrzymano wykresy zmienności wykładników Hursta dla szukanych skal, spośród których użytecznym czynnikiem prognostyczno-diagnostycznym okazała się skala 1024 punkty pomiarowe.

W niniejszej pracy scenariusze pomiarowe podzielono na grupy, które zawierały dodatkowe utrudnienie dla wykonujących ćwiczenie w postaci członków rodziny czy osób postronnych oraz te scenariusze, w których nie występuje wspomniany element utrudniający. W obrębie scenariuszy wydzielono zespół lekarzy oraz zespół pielęgniarek, dla których dokonano szczegółowej analizy zachowania i odpowiadających im zmianom wartości wykładników Hursta.

Dalej podjęto próbę wykazania, iż każdy z sygnałów generowanych przez analizowaną osobę zmienia swój charakter w odpowiedzi na niektóre zdarzenia zdefiniowane w scenariuszu, a odnoszące się do rozpatrywanej osoby. Przedstawiono przypadki, w których generowane sygnały przez członków zespołu przyjmują charakter szumowy (ang. *noise-like time series*) co oznacza, iż wartości wykładnika Hursta przyjmują najczęściej wartości poniżej jedności ($H(t) < 1,0$), dla zdarzeń charakteryzujących się trudnościami w wykonywaniu zadań członków zespołu, bądź nagłymi, nieprzewidywalnymi oraz poważnymi zmianami stanu pacjenta. Odpowiednio zaobserwowano także zmianę charakteru generowanych sygnałów dla członków zespołu na charakter tzw. błądzenia losowego (ang. *random walk-like time series*), co odpowiadało najczęściej wartościom wykładnika Hursta powyżej jedności ($H(t) > 1,0$), dla sytuacji gdy nie występowały dodatkowe utrudnienia w wykonywaniu obowiązków, a także stan pacjenta był względnie stabilny, a dalsze postępowanie z nim było znane.

Celem pracy była próba kwantytatywnego określenia wydajności zachowania studentów w trakcie analizowanych scenariuszy ćwiczeniowych. Niemożliwym jest wskazanie dokładnych przedziałów zmienności wykładnika Hursta w odpowiedzi na czynniki utrudniające wykonywanie czynności ratunkowych. Wydaje się, iż przedziały te mogą być zmienne osobniczo, wobec czego koniecznym krokiem byłoby dalsze przeprowadzenie wybranych scenariuszy dla wielu grup studentów. Niemniej jednak w wyniku przeprowadzonych badań zaproponowano pewne kryteria dotyczące przedziałów zmienności z uwzględnieniem charakteru generowanych sygnałów. Mogą stanowić one pewne kryterium odnoszące się do podatności danego studenta na czynniki utrudniające wykonywanie czynności ratunkowych.